

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



Návrh technologie výroby zadané součásti pomocí víceosého frézování
Production Technology Proposal of Part by Multiaxis Milling

Diplomant:

Bc. Rostislav Žáček

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Rostislav Žáček**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie výroby zadané součásti pomocí víceosého frézování**
Production Technology Proposal of Part by Multiaxis Milling

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Problematika víceosého frézování.
3. Návrh technologie výroby zadané součásti.
4. Volba vhodných obráběcích strojů a nástrojů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
[3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
[4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
[5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 19. 5. 2014

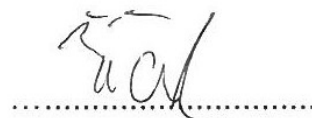

.....

Bc. Rostislav Žáček

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě: 19. 5. 2014



Bc. Rostislav Žáček

Jméno a příjmení autora práce: Rostislav Žáček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Pod Zahradami 1294, Kopřivnice, 742 21

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Žáček, R. *Návrh technologie výroby zadané součásti pomocí vícesého frézování*: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 59 s. Vedoucí práce: Čep, R.

Diplomová práce se zabývá obráběcími stroji, výhodami a nevýhodami použití víceosého obráběcího centra. Je vysvětlen rozdíl použití tříosých a víceosých strojů. Důkladně je popsána výroba těhlice na pětiosém frézovacím centru DMU 80 monoblock, která je umístěna na nápravu levého kola armádního vozu. Je spočtena finanční návratnost obou přípravků a znázorněno finanční zvýhodnění při použití víceosého obráběcího stroje. Součástí této práce je i výkresová dokumentace, která znázorňuje popis těhlice a názorné uložení do přípravků pro obrábění obou stran.

ANNOTATION OF THE THESIS

Žáček, R. *Production Technology Proposal of Part by Multiaxis Milling*: Master thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Technical faculty, Institute of Machining and Assembly, 2014. 59 p. Thesis head: Čep, R.

This thesis deals with machine tools, advantages and disadvantages of using multi-axis machining center. It explains the difference using a three-axis multi-axis machines. Thoroughly describe the preparation of the pitman five-axis milling center DMU 80 monoblock, which is located on the left wheel axle military truck. It calculated the financial return of the two products shown and financial advantages when using multi-axis machine tool. Part of this work is the drawings, which illustrates a schematic description of the pitman to store fixtures for machining both sides.

Obsah:

Seznam použitého značení a zkratk	8
Úvod	9
1. Historie a ekologie frézování	10
2. Rozdělení obráběcích center	12
2.1. Obráběcí centra pro nerotační součásti.....	13
2.1.1. Obráběcí centra se svislou osou vřetena	13
2.1.2. Obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena.....	13
2.2. Obráběcí centra pro rotační součásti.....	14
2.2.1. Univerzální soustružnická obráběcí centra	14
2.2.2. Multifunkční obráběcí soustružnická centra.....	14
3. Řízení víceosých obráběcích strojů	14
3.1. Jednoosé řízení	15
3.2. Dvouosé řízení	16
3.2.1. Dvouapůlosé řízení	17
3.3. Tříosé řízení.....	17
3.4. Víceosé řízení.....	18
3.4.1. Čtyřosé řízení	21
3.4.2. Pětiosé řízení	21
3.4.3. Víceosé řízení (obrábění pomocí robotů)	25
4. Pětiosé frézovací centrum DMU 80 monoblock	27
4.1. Chladící mazivo	29
4.2. Vřeteno motoru	29
4.3. Technické vlastnosti	30
4.4. Dotyková sonda	31
4.4.1. Vyrovnání obrobku	32
4.4.2. Nastavení vztažného bodu	33
4.4.3. Proměření obrobků	33
4.4.4. Senzor sondy	35
4.4.5. Přesnost snímání sondy	36
4.4.6. Měření nástrojů pomocí dotykové sondy	38
5 Výroba zvolené součásti	42
5.1. Technologický postup první strany odlitku.....	42
5.2. Popis přípravku.....	43
5.3. Popis ustanovení odlitku na přípravku.....	45
5.4. Ustanovení přípravku	45

5.5. Kontrola přesnosti	46
5.6. Upínací elementy.....	46
5.7. Výpočet upínacích sil	47
5.8. Technologický postup druhé strany odlitku	47
5.9. Popis přípravku.....	49
5.10. Ekonomické zhodnocení přípravku.....	49
5.10.1. Stanovení ceny přípravku.....	50
5.10.2. Min. počet kusů, aby se přípravek vyplatil	51
5.10.3. Přípustné náklady na výrobu zařízení C.....	51
5.10.4. Počet roků T potřebný k dosažení hospodárnosti zařízení	51
5.10.5. Výpočet zisku zavedením přípravku	51
6 Výhody víceosého obrábění	52
Závěr..	54
Poděkování	55
Použitá literatura	56
Seznam příloh	57
Seznam obrázků	58
Seznam tabulek	59

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK

Značení	Význam	Jednotka
př. n. l.	Před naším letopočtem	-
CNC	Computer Numeric Control	-
NC	Numerical control	-
OC	Obráběcí centra	-
n	Počet otáček	ot.min ⁻¹
r	Poloměr	mm
d	Délka	mm
š	Šířka	mm
v	Výška	mm
tzv.	Takzvané	-
Sb.	Sbírky	-

ÚVOD

Frézování je důležitou složkou obrábění, které udává směr strojírenské technologie. V posledních několika letech se stala obráběcí centra nepostradatelnou součástí strojírenských firem. V praxi se vyskytují stroje s různým počtem os. Nejjednodušší jsou jednoosé řízené stroje, mezi které patří např. vrtačka. S každou další přidanou řízenou osou stroje jsme schopni vyrábět složitější součásti a tím podstatně vylepšovat oblast výroby, zdokonalovat se před konkurencí a získávat nové zákazníky. Podstatná část obráběcích strojů je v strojírenských firmách tříosého charakteru. V dnešní době se vyrábí stále více dílů, u nichž základní tři osy nestačí. Přídavná zařízení v sobě skrývají možnost vložení dalších dvou os a vznikne takzvané víceosé obráběcí centrum. Díky těmto zařízením jsme na stávajících obráběcích strojích schopni vyrábět tvarově složité dílce a vyhovět nárokům poptávky. Vývoj z oblasti výrobních strojů ve strojírenském průmyslu je v současnosti z velké části dán využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace strojů při použití výpočetní techniky a příslušných softwarů zvyšuje zásadním způsobem jejich technickou hodnotu tím, že provádí rychle, spolehlivě a přesně opakované činnosti. Ve své práci se mimo jiné zabývám obráběním odlitku - těhlice, která je určena pro nápravu arabského vojenského automobilu. Názorně je vysvětlena podstata víceosého obráběcího stroje, která výrazně ušetří čas a náklady na výrobu.

1. HISTORIE A EKOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Vývoj frézek nebyl tak výrazný jako např. u vrtaček nebo soustruhů jeho datování je počátkem 19. století [5].

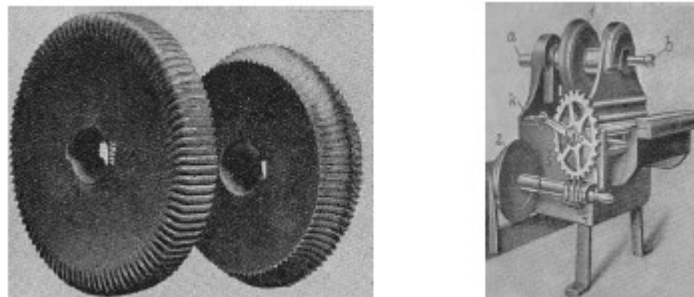
□ **Konec 18. století** – vyrobeny první frézovací nástroje (obr. 1), které se svými břity podobaly pilníkům. Jejich využití bylo převážně v zámečnictví,

□ **rok 1818** – vznik první frézky, která nesla základní prvky dnešních frézek. Stojan byl nízký, zhotoven ze dřeva a byl podepřen tenkými litinovými nohama (obr. 1),

□ **rok 1840** – převážná většina pilovacích operací byla nahrazena operacemi frézovacími,

□ **rok 1862** – konstrukce univerzální frézky, která již měla velmi podobné rysy frézek novodobých a sloužila k výrobě šroubových vrtáků,

□ **rok 1900** – proběhlo několik vylepšení univerzální frézky jako např. rovný stojan byl nahrazen pyramidovým a také došlo k zesílení konzoly [5].

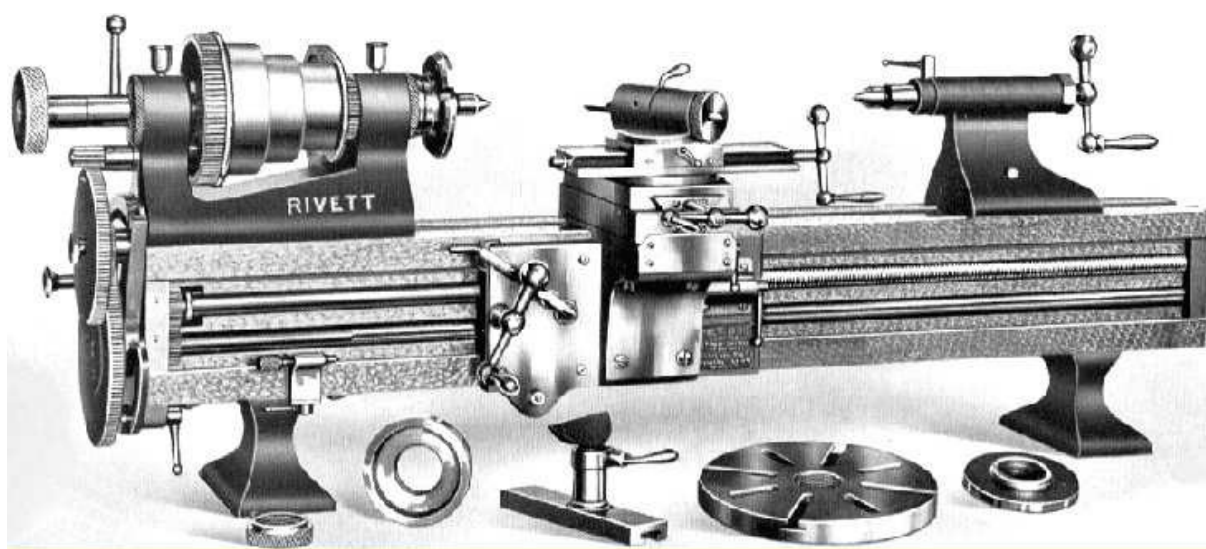


Obrázek 1 - Původní frézovací nástroje (vlevo), původní frézka z roku 1818 (vpravo)

Obor obráběcích strojů se nejvíce rozvíjel na počátku 19. století v době plného rozmachu průmyslové revoluce (1780-1830) [2]. Produkční stroje jako tkalcovské stavy, jejich transmisní pohony a parní stroje potřebovaly stále více ocelových částí. Koncem 18. století bylo běžné lití šedé litiny nebo kování oceli. Následnými způsoby opracování bylo sekání, broušení a zaškrabávání. Tento stav byl zcela neúnosný. Proto pro potřeby efektivnější sériové výroby bylo nutné vyvinout obráběcí stroje s opakovatelnou přesností obrábění.

První nástroje byly člověkem použity zhruba 2 mil. let př. n. l. v období paleolitu, 2,5mil-10 tis. př. n. l. začal člověk používat kamenné nástroje, ke konci období paleolitu se

objevily štípané kamenné nástroje. V mezolitu vynalezli lidé nástroje složené, čepel a rukojeť. V období neolitu přišlo sekání a broušení kamenných nástrojů, to oproti štípání pazourků přineslo zcela nové kvality. Neolit postupně přecházel civilizací v dobu bronzovou. V tomto období se objevují první vrtačky, soustruhy a vyvrtávačky. Tyto jednoduché stroje byly poháněny lidskou silou. Nejslavnější kresby pochází z Indie a starověkého Egypta. V období od průmyslové revoluce po první světovou válku byly obráběcí stroje podstatně zdokonaleny. Příkladem může být velmi úspěšná a precizní konstrukce firmy Rivett (Obr.2). Soustruh vypadá velmi moderně. V katalogu z roku 1912 firma píše: "...z nejlepší nástrojové oceli, vše tvrdé jako vřetena zakalená ohněm a rtutí, broušená diamantem tak, aby přesně pasovala.." Zde je vidět, jaký důraz byl kladen na marketing obráběcích strojů po celou dobu existence tohoto segmentu trhu.[9] Na rozdíl od soustruhu je původ frézky dodnes nejasný. S velkou pravděpodobností byla odvozena od soustruhu. Posunový pohyb zde místo nástroje vykonává obrobek. Prvními skutečnými frézkami byly stroje postavené pro zbrojovky v USA mezi lety 1814 a 1818. Literatura ani dnes s jistotou nezná jejich autory. Pravděpodobně šlo o skupinu vedoucích vývojových pracovníků, kteří zdokonalili starší stroje. Frézka je připisována vynálezci Eli Whitneymu.



Obrázek 2 - Rivett 8 Precision (1908)

Ekologie, recyklace a znovu obnovitelné zdroje jsou již nedílnou součástí všech obráběcích, ale také dalších procesů [6]. Zejména se jedná o procesní kapaliny, různé druhy olejů, ale také aerosoly a výpary.

Vymezení jednotlivých pojmů:

- **recyklace** – je sled technologických postupů, které umožní opětovné použití oleje (odpadu) v stávající nebo nové aplikaci. Recyklace nemusí zajišťovat plné obnovení životnosti oleje, kapaliny a zahrnuje jak regeneraci tak i ošetřování oleje a kapaliny,
- **ošetřování olejů** – je nezávislý sled technologických postupů. Výsledkem je prodloužení využití oleje, kapaliny v průběhu životnosti a rovněž snížení opotřebení strojního zařízení,
- **regenerace** – je jednotný technologický proces. Upotřebené oleje jsou základní surovinou pro zpracování v rafinerii. Výsledkem je nový olej,
- **upotřebený olej, kapalina** – jedná se o olej, který setrval ve strojním zařízení určitý počet jednotek (hodin, kilometrů, apod.), které jsou doporučeny výrobcem, nebo jakostní parametry oleje, kapaliny pro bezpečný chod strojního zařízení již překročily bezpečnou hranici provozu strojního zařízení [6].

Ke zlepšení ekologie, zabránění kontaminace ovzduší a zlepšení pracovního prostředí personálu obsluhujícího CNC obráběcí stroj se velmi často ve firmách používá zařízení Filtermist (obr. 2.1), které dodává firma WEMAC spol. s.r.o. Toto zařízení slouží k filtraci znečištěného vzduchu, přesněji se jedná o odlučování olejové mlhy a emulzního aerosolu, které vznikají během obrábění. Zařízení je prodáváno jako doprovodné a lze je použít i na starší typy CNC obráběcích center, ale také u strojů bez krytu jako jsou např. brusky, kde je již návrh pracoviště a instalace zařízení složitější.

2. ROZDĚLENÍ OBRÁBĚCÍCH CENTER

Za posledních 30 let vznikla nepřehledná řada koncepcí a konstrukcí obráběcích center. Ty můžeme dělit podle několika kritérií do skupin. Obráběcí centra vycházejí z původních frézek nebo soustruhů, dělíme je na centra pro rotační a nerotační součásti. V posledních desetiletích rozdíly mezi jednotlivými koncepcemi mizí.

2.1. Obráběcí centra pro nerotační součásti

Jak již bylo zmíněno výše, tyto stroje byly nejprve odvozeny od různých NC obráběcích strojů, z frézek s vodorovnou i svislou osou vřetena a vyvrtávaček. Změna byla dosažena přidáním automatické výměny nástrojů, CNC řízením. Nyní se stále více uplatňují stavebnicové koncepce strojů, protože jsou konstrukčně levnější, je zde podchycená vyšší sériovost výroby a tím je zajištěna i stabilnější kvalita produkce. Pro splnění náročných technologických požadavků mají tyto stroje kinematickou strukturu slouženou ze tří translačních pohybů, doplněnou o další translační či rotační pohyby. Běžně používané jsou otočné a naklápěcí hlavy a stoly. Často tak vznikají šestiosá obráběcí centra. Jako většinu obráběcích strojů můžeme OC na nerotační součásti rozdělit podle orientace osy vřetena, na OC se svislou a vodorovnou osou vřetena. Existují i otočné pevně indexovatelné a vidlicové vřetenové hlavy, které mohou měnit vodorovnou a svislou polohu. Přenos kroutícího momentu je zde limitován kuželovými koly. Rozdíly mezi jednotlivými koncepcemi jsou malé a snadno překročitelné.

2.1.1. Obráběcí centra se svislou osou vřetena

Obráběcí centra vhodná pro obrábění především deskových součástí. Řezná síla zde působí proti stolu, kde je součást upnuta. Byla odvozena od jednostojanových a dvoustojanových rovinných frézek. Dnes se v této kategorii setkáváme výhradně s uspořádáním typu gantry a pohyby rozdělenými mezi stůl a nástroj takto 0-XYZ, nebo s křížovým stolem XY-Z. Dříve byly běžné stroje v uspořádání X-YZ.

2.1.2 Obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena

Stroje vhodné především pro obrábění skříňových součástí. Pokud bude použita opěrná deska, není problém obrábět součást plochou. Součásti skříňového typu mohou být obráběny z pěti stran na jedno upnutí. Vřeteno je umístěno na rámu stroje a má často menší (nebo žádné) vyložení oproti OC se svislou osou vřetena. Tím je dána vyšší tuhost celé konstrukce. Snadnější je odvod třísek a výměna obrobků. Díky těmto a dalším výhodám je tato koncepce obráběcích center velmi častá. Různé varianty těchto strojů vznikaly rozdělením tří základních translačních pohybů mezi dvojici obrobek-nástroj. Nejčastěji používané jsou koncepce X-YZ, YZX, ZX-Y a 0-XYZ, které konstrukčně vycházejí z horizontálních vyvrtávaček.

2.2. Obráběcí centra pro rotační součásti

Jak bylo zmíněno výše, tyto stroje vycházejí ze soustružnických strojů. Jednak z vodorovných, ale i svislých karuselů. U svislých strojů byla upravena smykadla tak, aby mohla pracovat s frézovací vřetenovou hlavou a často byla přidána osa Y. Tím dostáváme multifunkční obráběcí centrum.

2.2.1. Univerzální soustružnická obráběcí centra

Jsou komplexní soustružnicko-frézovací obráběcí centra. Obrábí velmi rozměrné součásti, které bývají značně hmotné, na jedno upnutí a tím dosahují požadované přesnosti výsledku. Konstrukce vychází z karuselu doplněného o frézovací hlavu.

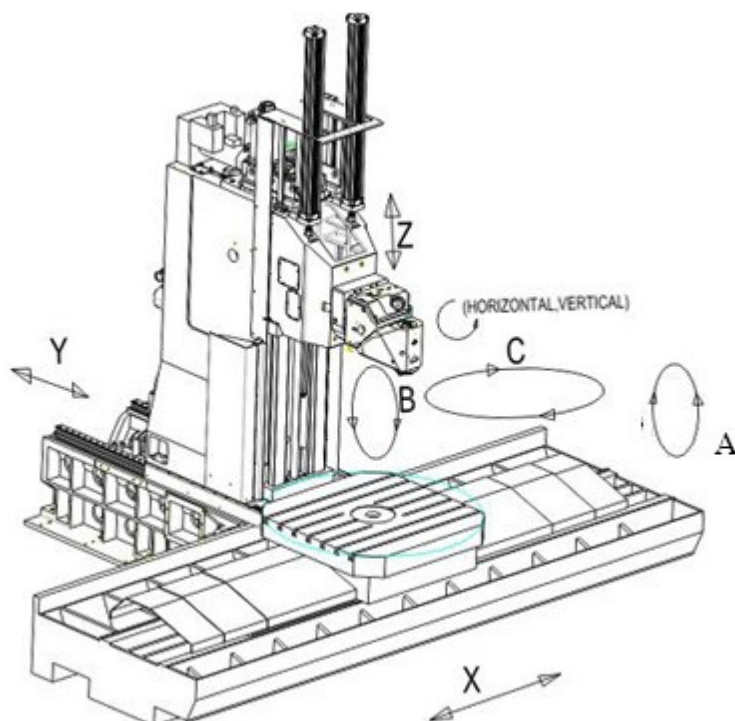
2.2.2. Multifunkční obráběcí soustružnická centra

Koncepce vychází z vodorovných CNC soustruhů, kde jsou kromě revolverových hlav v pracovním prostoru přítomny frézovací vřeteníky, pohyblivé v několika osách. Stroje jsou vhodné pro obrábění menších součástí na jedno upnutí. Pracují v automobilovém, leteckém, energetickém, zdravotnickém a v dalších sektorech průmyslu.

3. ŘÍZENÍ VÍCEOSÝCH OBRÁBECÍCH STROJU

Vývoj v oblasti konstrukce CNC strojů a jejich řídicích systému umožnil zvýšení počtu řízených os (souřadnic) a přechod z pravoúhlého systému řízení na souvislý způsob řízení. Tento princip zároveň umožnil i dosažení lepších technologických výsledků především při opracování tvarových prostorových ploch. Podle počtu řízených os můžeme NC stroje rozdělit na stroje řízené jako jednoosé (stolní vrtačky), dvouosé (umožňuje řídit souvisle dvě osy – např. NC soustruhy), dvaapůlosé (umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v různých rovinách a třetí osa je řízena mimo tento režim – např. NC vrtačky nebo NC frézky pro výrobu jednodušších součástí), tříosé (umožňuje řídit souvisle tři osy – např. NC frézky nebo NC obráběcí centra), čtyřosé (umožňuje řídit souvisle čtyři osy, nebo souvisle řídit tři souřadné osy a otočný stůl – např. NC frézky, NC horizontální vyvrtávačky), pětiosé (umožňují řídit souvisle pět souřadných os, nebo souvisle řídit tři souřadné osy a dvě osy otočného stolu – např. NC frézky nebo NC obráběcí centra), víceosé (umožňují řídit souvisle požadovaný počet souřadných os – např. speciální

obráběcí centra nebo speciální NC frézky pro specifické technologické operace – opracování klikových hřídelí) [1].



Obrázek 3 - Popis os obráběcích center

3.1. Jednoosé řízení

Jeden pohyb – po jedné ose.

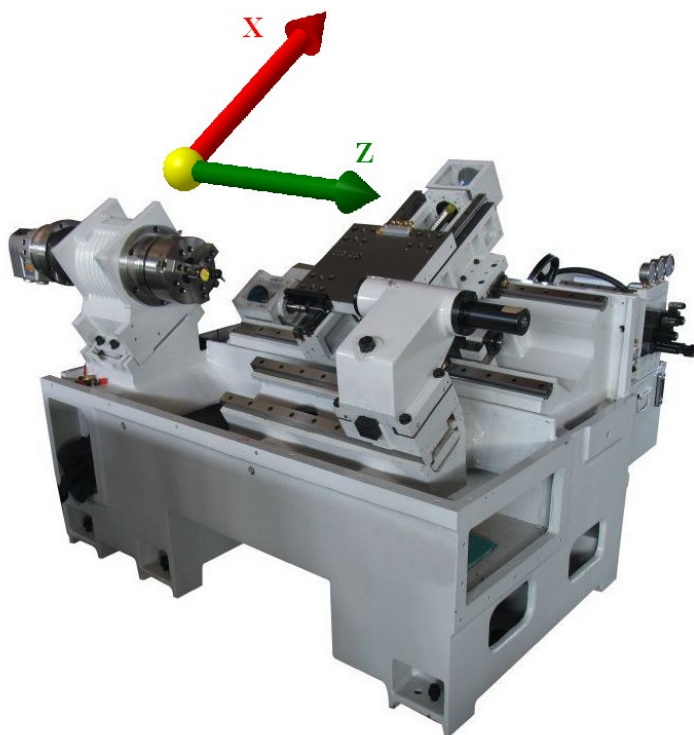
Příkladem: jednoúčelový stroj – vrtání díry.



Obrázek 4 - Jednoosé řízení (vrtačka)

3.2. Dvouosé řízení

Dvouosé řízení umožňuje souvisle řídit dvě souřadné osy v jedné pracovní rovině a dále parametry technologického procesu jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. U tohoto řízení může být použita přídavná osa, která se však programuje zvlášť, např. osa W. Nástroje u dvouosého řízení se pohybuje mezi dvěma rovinně definovanými body po přímkové nebo kruhové dráze. Ostatní spojovací elementy je možno aproximovat pomocí přímek a kružnic, tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění rovinných kontur pomocí následujících technologií – soustružení rotačních tvaru na NC soustruzích a vrtání, závitování, srážení hran atd. v ose obrobku. [1]



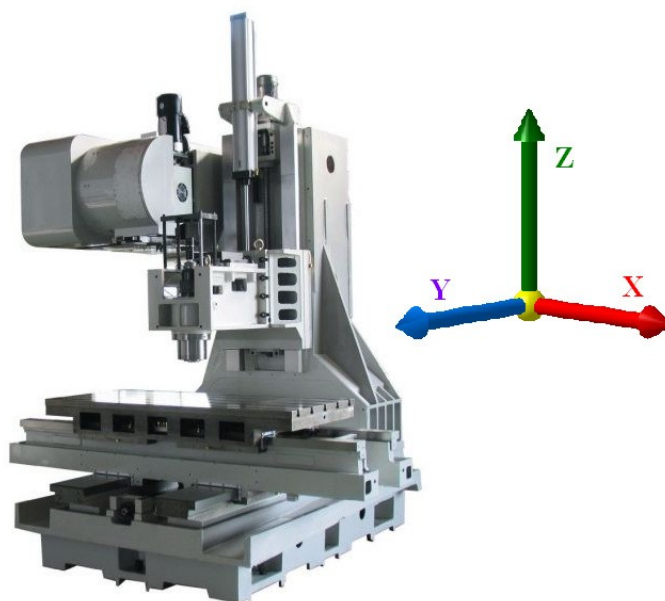
Obrázek 5 - Dvouose řízený NC stroj (soustruh)

3.2.1. Dvouapůlosé řízení

Dvouapůlosé řízení umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v různých pracovních rovinách a třetí osu v dalším bloku a parametry technologického procesu jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroje u dvouapůlosého řízení se pohybují mezi dvěma rovinně definovanými body po přímkové a kruhové dráze. Ostatní spojovací elementy je možné aproximovat pomocí přímek a kružnic. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění rovinných tvaru pomocí následujících technologií – frézování rovinných tvaru na NC frézkách a vrtání, závitování, srážení hran atd. V současné době je tento způsob na ústupu a používá se pouze u jednodušších NC strojů.

3.3. Tříosé řízení

Tříosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a další parametry technologického procesu jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroj u tříosého řízení se pohybuje mezi dvěma prostorově definovanými body po přímkové, kruhové, spirálové atd. dráze. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění otevřených prostorových tvaru v následujících technologiích – vrtání, závitování, srážení hran, frézování rovinných a prostorových tvaru na NC frézkách nebo NC obráběcích centrech.



Obrázek 6 - Tríoše řízený NC stroj (frézka)

3.4. Víceosé řízení

Víceosé souvislé frézování vyžaduje použití CAM systému, který uživateli generuje NC program pro obrobení požadovaného tvaru. Velmi záleží na kvalitách CAM systému, protože prostředky, které systém nabízí, uživateli pomohou plně využít potenciál jeho frézovacího stroje. Moderní výkonné CAM systémy umožňují nastavit osu nástroje několika odlišnými způsoby, pro perfektní obrobení požadovaného tvaru. Mezi možnosti nastavení osy nástroje v CAM systémech patří pevné nastavení úhlu odklonu nástroje, řízení nástroje podle normály plochy nebo také řízení osy nástroje uživatelskými prvky jako je bod, přímka nebo křivka, které umožňují zcela variabilní nastavení sklonu nástroje i pro tvarově složité modely. Schopný CAM by měl kromě možností nastavení osy nástroje také poskytovat dostatek obráběcích strategií (technologií) pro perfektní obrobení různých částí modelu, aby vždy byla zabezpečena dobrá kvalita povrchu. S tím souvisí možnosti použití tříosých obráběcích strategií i pro pětiosé obrábění nebo převádět již spočítané tříosé dráhy na víceosé dráhy nástroje. Neméně důležitá je i možnost použití všech typů nástrojů, které nám CAM nabízí i pro pětiosé dráhy nástroje, protože se stále častěji využívají kuželové nebo tvarové nástroje, které zajišťují větší tuhost nástrojové sestavy a lepší řezné podmínky.

V posledních letech také přibývají funkce pro automatický odklon sestavy nástroje v místech, kde by hrozila kolize s obrobkem anebo možnosti pro vyhlazení osy nástroje, které eliminují zbytečné pohyby rotačních os obráběcího stroje, které prodlužují čas

obrábění. U některých CAM systémů se také můžeme setkat se specializovanými technologiemi pro obrábění lopatkových kol, turbin nebo uzavřených kanálků. Takovéto funkce velmi zjednodušují a zrychlují celý proces programování 5os souvisle a umožňují efektivní využití potenciálu obráběcího stroje.

O čtyř až pětiosé frézování jde tehdy, pokud jsou všechny osy současně v pohybu. Tento velice produktivní způsob frézování je již řadu let využíván především v leteckém průmyslu, ale v posledních letech se začíná využívat i v dalších odvětvích, například v průmyslu automobilovém, lodním, jaderném apod. Proto v poslední době vzrůstá poptávka po víceosých NC strojích a CAM produktech, které dovedou generovat NC programy pro tyto stroje. Pojdme si v krátkosti ukázat, jaké možnosti poskytuje NX3 CAM, dříve známý pod pojmem Unigraphics, který je dlouholetým průkopníkem v této oblasti.

NX3 CAM dodávaný a zajišťovaný firmou UGS je ucelený víceosý NC programovací systém, který nabízí velice široké možnosti řízení osy nástroje. Je jím možno efektivně řídit osu nástroje přiléhající k uzavřené geometrii, kterou by nebylo možno obrobit pouze ve třech osách. Řízení osy nástroje pomocí interpolace je ideální pro složité situace, kde plně říditelná osa nástroje umožňuje vyhnout se kolizním stavům s obráběnou geometrií. Tento způsob je vhodný například pro obrábění lopatek. Také formy pro pneumatiky požadují přesné víceosé frézování proměnlivých profilů na složitých zakřivených plochách. NX3 CAM je schopen rychle vyhrubovat a dokončit díly typické například pro letecký průmysl, u kterých je možno aplikovat velice produktivní víceosé frézování, kdy šikmé stěny kapes jsou obráběny bokem frézy. Systém při určení dna kapsy automaticky vyhledá příslušné stěny a vygeneruje dráhu nástroje, aniž by došlo ke koliznímu stavu s obrobkem či případnou upínkou [3].

✓ **Simulace**

Při víceosém obrábění hrozí nebezpečí, že dojde ke kolizi nejen s obrobkem či upínkou, ale i mezi pohyblivými částmi stroje. Výhodou systému NX3 CAM je, že umožňuje počítačovou simulaci celého stroje, jíž lze předejít případným problémům ve výrobě a možnému poškození drahého a složitého výrobního zařízení. Tato simulace se provádí přímo na NC kódu, to znamená, že jsou eliminovány případné chyby postprocesoru.

✓ **Tvorba postprocesoru**

Nutnou podmínkou pro použití systému je, aby byl k dispozici postprocesor pro konkrétní stroj, který umožní vytvořit příslušný NC program. Z tohoto důvodu systém

nabízí modul Postbuilder pro tvorbu postprocesoru, což je vlastně grafické rozhraní (viz obr. 6), které umožní uživateli velmi rychle vytvořit i velice složitý postprocesor pro víceosé nebo multifunkční stroje.

✓ **Zavádění novinek do praxe**

Výhody víceosého obrábění jsou nesporné. Ve výrobní praxi se však stává, že nové a progresivní metody obrábění nejsou výrobními programátory aplikovány, neboť se jim nové možnosti NX3 CAM mnohdy jeví jako složité a komplikované. Zde je třeba upozornit, že systém je v principu jednoduchý a snadno aplikovatelný a k jeho praktickému použití stačí pouze krátké zaškolení. Využitím všech možností systému následně dojde ke zvýšení produktivity práce, neboť bude lépe využita kapacita obráběcího stroje. Odpadne tím tak další nutná operace, popř. i více operací, které by musely být naprogramovány jednotlivě přímo na stroji. Nezanedbatelné je rovněž lepší využití strojního času NC stroje, neboť odpadá neproduktivní čas nutný k jeho naprogramování.

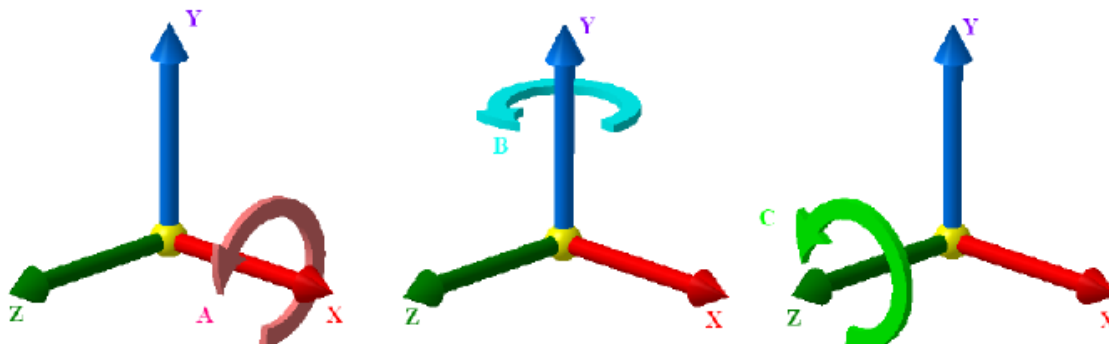
✓ **Typy víceosých drah nástrojů**

- pětiosé hrubování a dokončování více ploch včetně nastavení hloubek řezu, hrubování odvrtáváním a obráběcí strategií pružné řádky
- pětiosé frézování použitím jednosměrných a obousměrných řezů a spirální strategie
- Tangenciální dokončování bočních stěn (tangenciální obrábění přes víceplošná dna udržuje okraj nástroje proti řídicí ploše pro hladké dokončení)
- Tangenciální obrábění vedení vám umožní lepší řízení nástroje podél spodního vedení
- pětiosé obrábění křivek s definicí dopředného a bočního náklonu nástroje
- pětiosé profilování pro ořezání dílců vyrobených vakuovým vyfukováním
- Obrábění směrem k definovanému bodu definicí úhlu náklonu nástroje vzhledem k obrobku (pro vyhlazené hrotové obrábění kolem celého dílce)
- Snadné čtyřosé rotační frézování a pětiosé vrtání
- „navinutí“ dráhy nástroje kolem průměru se substitucí rotační osy
- Tvorba plného pětiosého pohybu projekcí z tříosé dráhy
- Speciální funkce pro obrábění hlav válců a konverze měřených dat do obrobitebního formátu

3.4.1. Čtyřosé řízení

Čtyřosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a natočení obrobku (např. kolem osy Z – souřadnice C). Místo naklopení nástroje je možné instalovat pomocný otočný stol se svislou osou rotace. Mimo tyto geometrické parametry jsou řízeny další parametry technologického procesu, jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroj u čtyřosého řízení se pohybuje mezi dvěma prostorově definovanými body po přímce, kruhové, spirálové aj. dráze. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění otevřených prostorových tvaru v následujících technologiích – vrtání, závitování, srážení hran, frézování rovinných a prostorových tvaru na NC frézkách, NC vyvrtávačkách nebo NC obráběcích centrech.

Frézování za využití čtvrté osy coby například děličky je poměrně běžnou praxí. Díky děličce pak na běžné tříosé frézce získáváme osu navíc, kterou lze využít například při polohování. Díky děličce jsme tedy schopni kus otáčet a postupně frézovat z více úhlu. V případě indexování se využívá čtvrté osy pouze při natáčení. Kus se natočí do požadované polohy, zafixuje se a probíhá standardní tříosé či dvouosé frézování. [8]

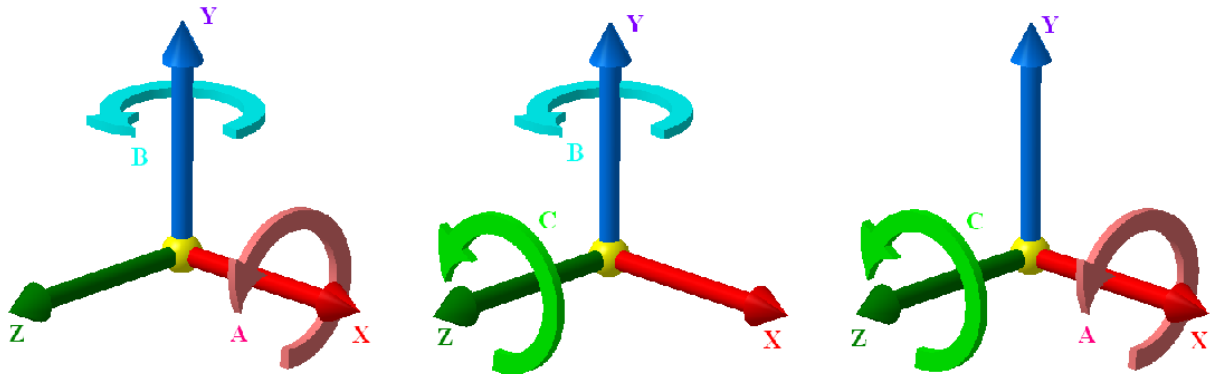


Obrázek 7 - Čtyřosé řízení

3.4.2. Pětiosé řízení

Pětiosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a naklonění nástroje souřadnicemi podle dvou os např.: X, Y v souřadnicích A, B nebo místo naklonění nástroje instalovat pomocný otočný stol se dvěma rotačními osami. Schéma zobrazující princip je analogické rotaci kolem X, Z nebo Z, Y – a závisí na konkrétní konstrukci NC stroje. Mimo tyto geometrické parametry jsou řízeny další parametry technologického procesu, jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroj se u pětiosého řízení pohybuje mezi

dvěma prostorově definovanými body po přímkové, kruhové, spirálové aj. dráze. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění prostorových tvarů z pěti stran objektu pomocí následujících technologií - vrtání, závitování, srážení hran, frézování rovinných a prostorových tvarů na NC frézkách nebo NC obráběcích centrech.



Obrázek 8 - Pětiosé řízení

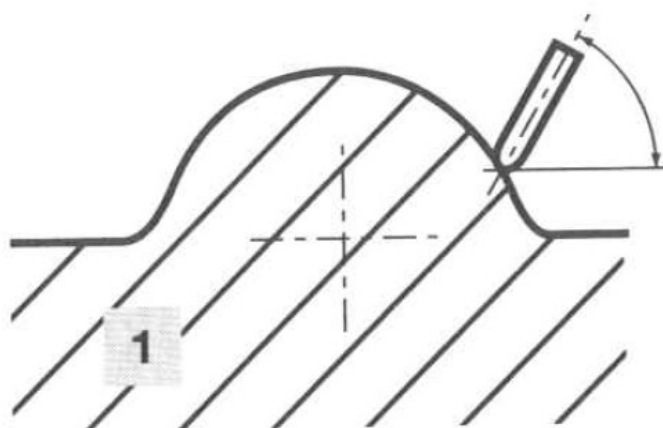
3.4.2.1. Výhody pětiosého řízení

- Velká část obráběných ploch může být obráběna při jediném upnutí. Tím se snižuje čas potřebný pro manipulaci s obrobkem a minimalizuje počet chyb.
- Použití kratších nástrojů zvyšuje tuhost stroje, snižuje deformaci plochy, dává lepší povrchovou úpravou a přesnost.
- Díky vyklonění nástroje lze zkrátit jeho vyložení, což vede k lepší kvalitě povrchu a prodloužení životnosti nástroje [8]

3.4.2.2. Frézování tvarových ploch z hlediska naklápění nástroje

- Pevné nastavení vřeteníku

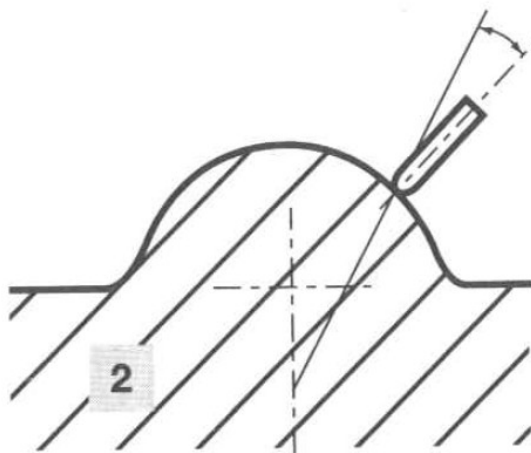
Sklon osy nástroje (např. kulové frézy) je dán pevným nastavením vřeteníku s nástrojem (nebo stolu frézy) např. v osách A, B o určitý úhel. Nazývá se též 3 + 2D (říká se, že nástroj je vlečen). Úhel se nemění při obrábění jakéhokoli tvaru: může nastat situace, že nástroj obrábí nevýhodně část tvaru – když bude nástroj k tečně obráběné plochy, nástroj některé části tvaru z druhé strany neobrobí. Nelze hovořit o typickém obrábění 5D [4].



Obrázek 9 - Sklon osy nástroje - pevné nastavení

b) Přímka a úhel k přímce

Sklon osy nástroje (např. kulové frézy) je pevně dán přímkou a úhlem k přímce. Přímka je dána např. bodem a osou rotace nakloněného otočného stolu frézky nebo nakláněním frézovací hlavy. Úhel se mění při obrábění jakéhokoli tvaru v dané obráběné rovině.

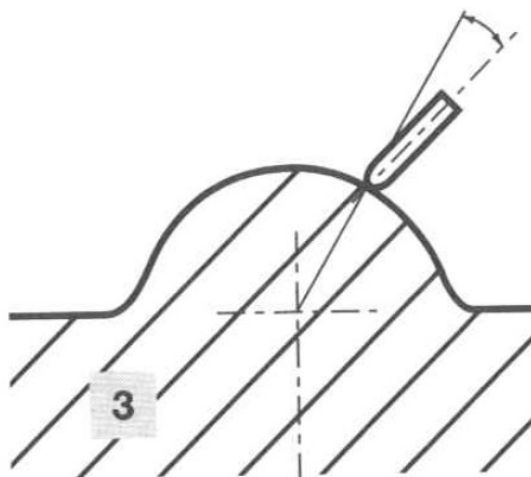


Obrázek 10 - Sklon osy nástroje - přímka a úhel k přímce

c) Úhel k tečně z bodu obráběné plochy

Sklon osy nástroje (např. kulové frézy) je dán zvoleným úhlem k tečně z bodu obráběné plochy – obráběného místa obrobku. Úhel se nemění z hlediska obráběné plochy (její tečny), ale mění se průběžně dle sklonu jednotlivých obráběných ploch. Je to nejvýhodnější způsob vedení nástroje, ale také vyžaduje nejnáročnější konstrukci obráběného stroje a řídicího systému – frézky. Zde je umožněno libovolné průběžné

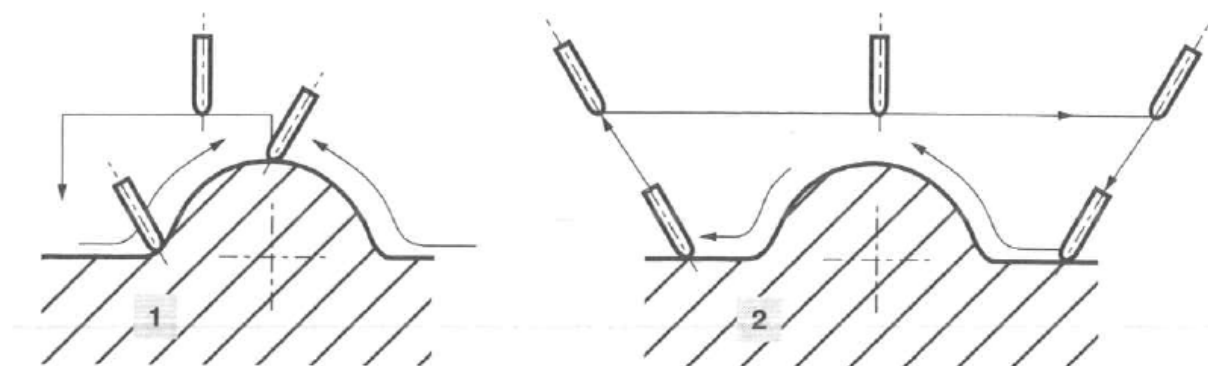
naklápění frézovací hlavy (nebo stolu) při obrábění. Představitelem jsou pětiosé frézky určené pro nástrojárny – pro výrobu forem, zápustek atd.



Obrázek 11 - Sklon osy nástroje - Úhel k tecně

Pohyb nástroje v oblasti, kde je potřeba, aby se nástroj „překlopil“ na druhou stranu obráběného tvaru (výstupku), ukazuje obrázek. Používají se dva znázorněné způsoby pro

frézování tvarových výstupku nakloněným nástrojem v 5D, obdobné platí i pro dutiny.



Obrázek 12 - Obrábění a přesuny nástroje na tvarových plochách

3.4.2.3. Programování pětiokého řízení

Při programování 5osého polohování se v mnoha CAM softwarech využívá počátečních bodů nebo rovin. Ty se pak umísťují nad kapsy, profily, otvory a další prvky, které chceme obrábět. Díky těmto rovinám, je poměrně jednoduché (záleží na typu CAM systému) tyto prvky obrobit. Postup programování například v softwaru FeatureCAM je tedy následující:

1. Jako první se specifikují počáteční body (roviny) nad prvky, které bude chtít

uživatel obrábět (Mám-li tedy například kvádr, na kterém je ze tří stran nadefinována kapsa, určím počáteční bod do rohu každé ze tří ploch).

2. Spuštění automatického rozpoznání technologických prvků, pomocí kterého software prohledá všechna ustavení, která jsou díky předchozímu bodu již naprogramována. Automatické rozpoznání najde na modelu požadované technologické prvky (například tedy kapsy, profily, otvory a další prvky, které mají být obráběny).

3. Pro ověření správnosti naprogramování bývá doporučeno simulovat, simulace může být realizována například se strojem.

Zápis v NC programu pro natočení rotačních os v systému Heidenhain iTNC530 vypadá následovně:

```
55 PLANE SPATIAL SPA+0.000 SPB-60.000 SPC+60.000 TURN FMAX
```

3.4.3. Víceosé řízení (obrábění pomocí robotů)

S rozvojem moderních technologií je stále běžnější využití průmyslových robotů i pro různé obráběcí operace. Roboti mohou provádět většinu obráběcích operací, jako je klasické rotační frézování a vrtání, ale také ořezávání libovolných tvarů statickým nástrojem, svařování plasmou nebo laserem. Za zmínku stojí také možnost provádět měření obroběných součástí. V současné době je 10 - 15 % robotických pohybů použito pro rotační obrábění. Nejpoužívanější jsou šestiosí roboti, ale můžeme se setkat i se speciálními roboty, kteří mají jen 3 nebo 4 osy.

3.4.3.1. Výhody robotu

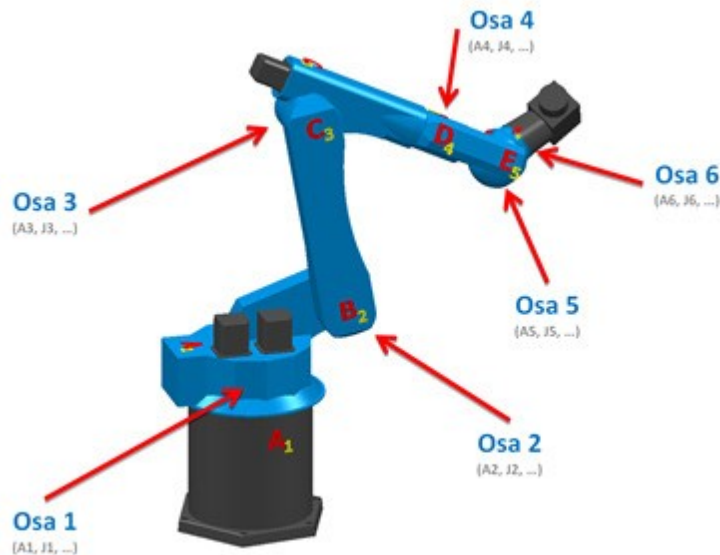
Použití robotu pro obrábění je výhodné z několika důvodů. Největší výhodou je velká volnost pohybu, která nám umožňuje obrábět rozměrné součásti na jedno ustavení ze všech stran. Dalšími pozitivy je přemístitelnost robota, nejsme tedy vázáni na jedno konkrétní místo, kde obrábění probíhá. V neposlední řadě je možné roboty provozovat i v nepříznivých podmínkách (prašné prostředí, radioaktivní prostředí, obrábění kompozitu,

...). Mezi zásadní nevýhodu použití robotu patří limitovaná přesnost a tuhost a také odlišnost programování.

3.4.3.2. Programování robotů

Pro programování robotu je velmi důležité si uvědomit, že robot při pohybu z jednoho bodu do druhého má díky svým šesti osám většinou hned několik možností, jak pohyb provést. Při pohybu robota je nutné zabezpečit, aby nedošlo k překroucení nebo dokonce k přetržení přívodních kabelů a následné destrukci robota a také, aby nedošlo ke kolizi obráběcího nástroje s obrobkem.

Díky složitosti pohybu je nutné roboty programovat pomocí nějakého systému. Kromě řízení přímo od výrobců robotu, je možné využít i některé standardní CAM systémy, které řízení robotu nabízejí. Například světová jednička v obrábění, anglická společnost Delcam, nabízí ke svému prémiovému CAM systému PowerMILL doplněk pro řízení robotu. Obrábění je prováděno standardním způsobem. Pres definici polotovaru a nástroje se zvolí vhodná technologie, potřebné nastavení osy nástroje a výsledkem je dráha nástroje. Nyní díky zcela přesné simulaci s modelem robota se zjistí bezkoliznost dráhy nástroje a reálné pohyby jednotlivých částí robota. Je možné požadované osy robota fixovat, nastavit potřebné nulové body, určit směr a způsob přejezdu a natáčení robota během jednotlivých částí obrábění. Není tedy nutná simulace v programu výrobce robota. Výstup ze simulace se zapisuje přímo do jazyku daného robota. V současné době jsou podporovány roboty Kuka, ABB, Fanuc, Staubli, Motoman. Díky jednomu CAM systému je tedy možné efektivně řídit více robotu od různých výrobců [8].



Obrázek 13 - Obráběcí robot

4. Pětiosé frézovací centrum DMU 80 monoblock

Jak již bylo řečeno, víceosé frézování usnadňuje práci a šetří pracovní čas. V dnešní době je snaha realizovat co možná nejvíce obráběcích operací na jednom stroji, na jedno upnutí s co nejméně nástroji. Tento trend minimalizace způsobů technologií vede ke značnému zefektivnění výroby. Hlavními důvody integrace technologií výroby z několika obráběcích strojů do jediného obráběcího CNC stroje (centra) jsou odstranění vedlejších časů, např. upínání a odepínání součástí na jiných strojích, časy čekání na další operaci nebo odstranění časů manipulace s materiálem mezi stroji. Dále pak snížení nákladů na nákup a provoz strojů, úspora výrobních prostor, snadnější možnost automatizace výroby a značné zvýšení přesnosti obrábění.

Podstatnou vlastností vertikálního pětiosého frézovacího centra DMU 80 monoblock je mimo jiné optimalizovaná tuhost stoje, laserové měření nástrojů, vnitřní i vnější chlazení nástroje emulzí i vzduchem, což přispívá společně s vhodnými obráběcími podmínkami nástroje k zhotovení přesného a nepoškozeného výrobku při maximálním výkonu obrábění.



Obrázek 14 - DMU 80 monoblock

Tabulka 1 - Popis DMU 80 monoblock

Pozice	1	2	3	4	5
Název	Skříňový rozvaděč	Obslužný pult s řízením	Nádržka chladicího maziva	Otočný stůl	Základní stůl
Pozice	6	7	8	9	10
Název	Frézovací hlava	Kabina chránící před třískami a emulzí	Průhledné desky	Dopravník třísek	Zásobník chladicího maziva

Univerzální frézka s označením DMU 80 monoBlock firmy DMG patří mezi nejnovější řadu strojů určené k vysokoproduktivnímu obrábění s vysokou přesností a precizností. V základním provedení je stroj dodáván s třemi CNC osami, volitelné provedení může být v provedení 3+2, 4 nebo 5 CNC os. Pětiosé obrábění může být řešeno pomocí posuvu vřeteníku os X, Y, Z, naklápění kolébky (osa A nebo B) a otáčením stolu (osa C) (obr.15). Z bezpečnostních důvodů je stroj obklopen průhlednými deskami. Ty umožňují sledovat práci nástrojů a zároveň nás chrání před třískami a zadržují chladicí mazivo. Průhledné tabule jsou zhotoveny převážně z polykarbonátu, který se vzhledem ke své pružnosti může při nárazu odlétávajícího dílce vyklenout.

4.1. Chladicí mazivo

Chladicí mazivo by mělo mít teplotu maximálně 25°C, při překročení této teploty nemusí být dosaženo jmenovitého výkonu vřetene. Při chlazení vzduchem by měla být dodržena maximální teplota vzduchu 35°C. Rostoucí podíly antikorozních a mrazuvzdorných příměsí snižují chladicí účinek chladiva. Chladicí maziva jsou přiváděny k nástroji pomocí trysek, které jsou umístěny na hlavě vřetena. Trysky jsou nastavitelné na různé polohy a je možno na ně našroubovat nadstavce. Přívod chladicí emulze vně nástroje vyvoláme pomocí zapnutí funkce M8, přívod chladicí emulze vnitřkem nástroje vyvoláme pomocí zapnutí funkce M7, přívod chladicího vzduchu vyvoláme zapnutím funkce M25.

4.2. Vřeteno motoru

Vřeteno motoru je provozováno elektronicky. Při provozu se určité části těchto motorů nuceně nacházejí pod nebezpečným napětím. Neodborná manipulace s vřetenem motoru může proto vést ke smrti nebo těžkým poraněním. Údržbu motoru smí proto provádět pouze kvalifikovaný personál. Při maximálním počtu otáček, v závislosti na průměru nástroje, vznikají velmi vysoké obvodové rychlosti a z toho vyplývající vysoké odstředivé síly. Z tohoto důvodu se musí stroj používat jen v uzavřených pracovních prostorech a ve spojení s vhodnými nástroji.



Obrázek 15 - otočný stůl

Další možností vytvoření pětiosého obrábění je naklopení vřetene s nástrojem. Touto vymožeností CNC fréza DMU 80 mono block disponuje. posuv stolu koná pohyby v osách X, Y, Z a úhlová hlava realizuje výkyvné pohyby v osách B a C (obr.16). Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj TK 6511 CNC je řízen v pěti osách: podélný posuv stolu - osa X, svislý posuv vřeteníku - osa Y, příčný posuv stojanu - osa Z, výsuv vřetena - osa W a otáčení stolu - osa B. Na přání zákazníka může být stroj vybaven univerzálními

frézovacími hlavami. Moderní CNC frézovací stroje jsou schopny pomocí svých přídatných modulů obrábět i tvarově náročné součásti, se zaručením přesnosti polohování, jakostí struktury povrchu a geometrické přesnosti, které by se dříve jen velice pracně vyráběly.



Obrázek 16 - naklepení vřetene

Vyklopení vřetene a natočení stolu má i negativní účinky, jako třeba zkrácení pojezdu, nutného vynulování uhlů před výměnou nástroje a srovnání vřetene po jakémkoli přerušení obrábění, což hlavně při sériové výrobě přináší nemalé ztráty času.

Tabulka 2 - metrologické hodnoty při vytočení vřetene

přesazení osy vřetena	100 mm
rozsah naklápění	120/+30°
zkrácení pojezdu osy X	o 100 mm

4.3. Technické vlastnosti

Kruhový otočný stůl o $d = 700$ mm je vležen v pevném stole o rozměrech $x = 1\,250$ mm a $y = 700$ mm. Již v základním provedení je stroj dodáván s celokabinovým krytem, teplotně stabilizovaným ložem, chladicí nádrží s objemem 250 litrů.

Tato CNC fréza včetně její volitelné výbavy je určena pro:

- obrábění převážně rotujících nástrojů / obrobků, z kovu, dřeva, umělé hmoty

- použití otáčejících se nástrojů a obrobků v provedení FD,
- manipulaci obrobků, polotovarů a nástrojů, jak je stanoveno periferními jednotkami a dodávanými se strojem.

Tabulka 3 - Technická data DMU 80 monoblock

Otáčky vřetene	12 000 ot/min
Rozměry stolu	1 250 x 700 mm
Pojezd osy X	980 mm
Pojezd osy Y	630 mm
Pojezd osy Z	610 mm
Otáčky hlavního vřetene	18 000 rpm
Kužel vřetene	HSK 63
Počet nástrojů	32 ks
Maximální zatížení stolu	650 kg
Výkon vřetene	28/19 kW
Rozměry d x š x v	3 900 x 2 400 x 2 900 mm
Hmotnost stroje	9 000 kg
Řídicí systém	Heidenhain iTNC 530

Pro původní umístění stroje do půdorysné plochy musíme zauvažovat správnost rozhodnutí protože se nedoporučuje stroj přesouvat na jiné zvolené místo, např z důvodů vychýlení obsažného panelu. Doporučuje se také například do podlahy zabetonovat ustavovací kolíky. Zvolené místo musí splňovat také bezpečnostní podmínky.

4.4. Dotyková sonda

Pro použití na obráběcích strojích – především na frézkách a obráběcích centrech. Hlavním přínosem je snížení přípravných časů pro seřízení a vyrovnaní dílce v pracovním prostoru, eventuálně je možno zjistit aktuální rozměry dílce mezioperační kontrolou a zvolit následnou strategii dokončovacího obrábění. Pro práci s dotykovou sondou je k dispozici ruční režim nebo ovládání z NC programu.

Pro měření obrobků (dílců) na stroji nabízí HEIDENHAIN spínané dotykové sondy TS. Upínají se ručně nebo pomocí výměníku nástrojů do vřetena stroje. V závislosti na snímacích funkcích NC řízení můžete buď automaticky nebo ručně

- vyrovnávat obrobky

- nastavit jejich nulový bod
- proměřit obrobky
- digitalizovat resp. kontrolovat 3D tvary.

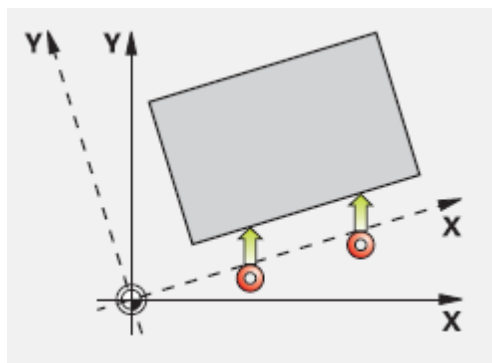


Obrázek 17 - Dotyková sonda firmy HEIDENHAIN

4.4.1. Vyrovnání obrobku

Přesné, osově paralelní vyrovnání je nutné zejména u již opracovaných obrobků, protože vztažné plochy se musí nacházet v přesně definované poloze. S dotykovými sondami firmy HEIDENHAIN se vyloučí tato časově náročná procedura a mohou se ušetřit i případné upínací přípravky.

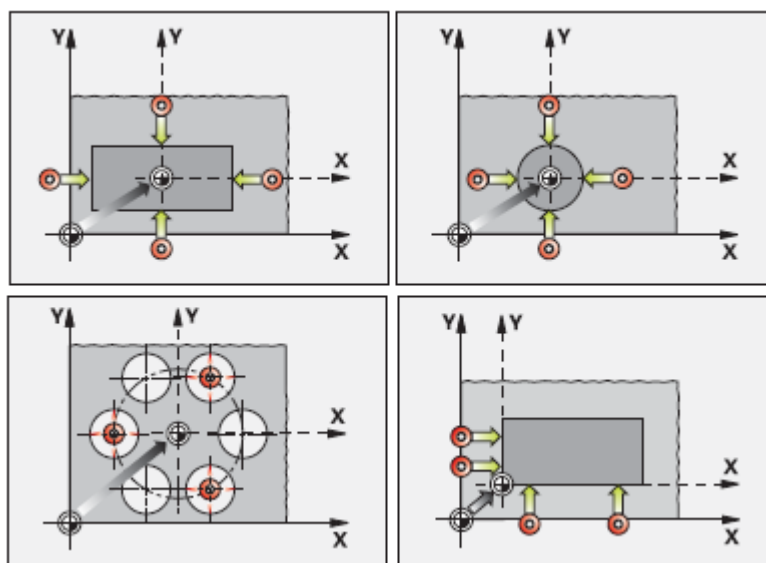
- Postup:
- Obrobek se upne v libovolné poloze.
 - Dotyková sonda zjistí nasnímáním jedné plochy, dvou vrtaných otvorů nebo čepů šikmé ustavení (odklon) obrobku.
 - CNC vykompenzuje toto šikmé ustavení pomocí základního natočení souřadného systému. Rovněž je možná kompenzace natočením otočného stolu.



Obrázek 18 - Kompenzace šikmého ustavení obrobku pomocí základního natočení souřadného systému

4.4.2. Nastavení vztažného bodu

Obráběcí programy vycházejí ze vztažných bodů. Rychlé a přesné určení vztažných bodů obrobku (dílece) pomocí obrobkové dotykové sondy tak výrazně ušetří čas a navíc zvýší přesnost obrábění. V závislosti na funkcích dotykové sondy, kterými je CNC vybaveno lze dotykovými sondami HEIDENHAIN automaticky nastavit vztažné body.

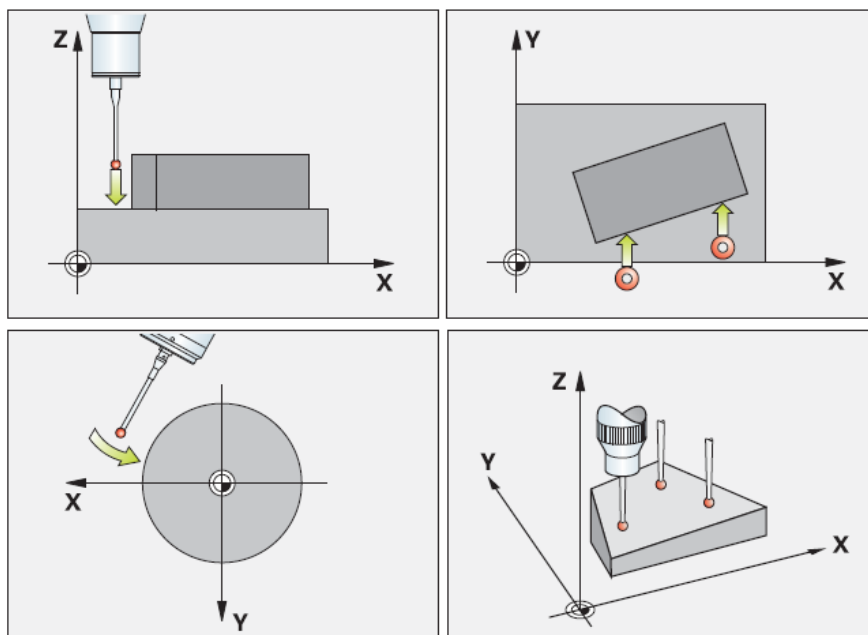


Obrázek 19 - Střed pravoúhlého a kruhového čepu, střed roztečné kružnice, stanovení vnějšího rohu

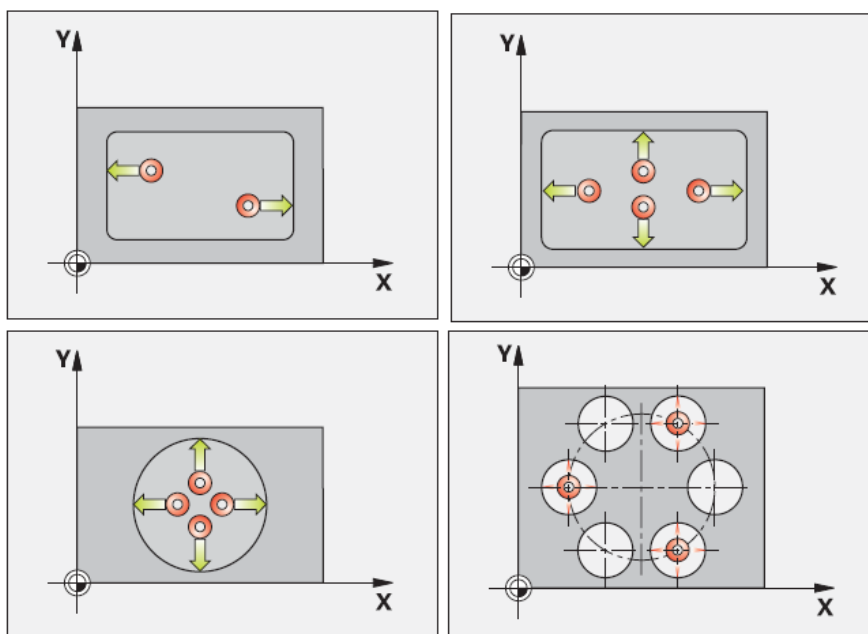
4.4.3. Proměření obrobků

Dotykové sondy HEIDENHAIN jsou určeny například pro programově řízené proměření obrobku mezi dvěma obráběcími kroky. Změřené hodnoty polohy budou použity ke kompenzaci opotřebení nástroje. Je také možné po dokončení výrobku použít

tyto hodnoty k zaprotokolování jeho přesnosti nebo k zjištění chování stroje. CNC může výsledky měření přenášet přes datové rozhraní.



Obrázek 20 - Měření polohy, úhlu, průměru, naklonění roviny



Obrázek 21 - Měření délky, průměru, roztečné kružnice

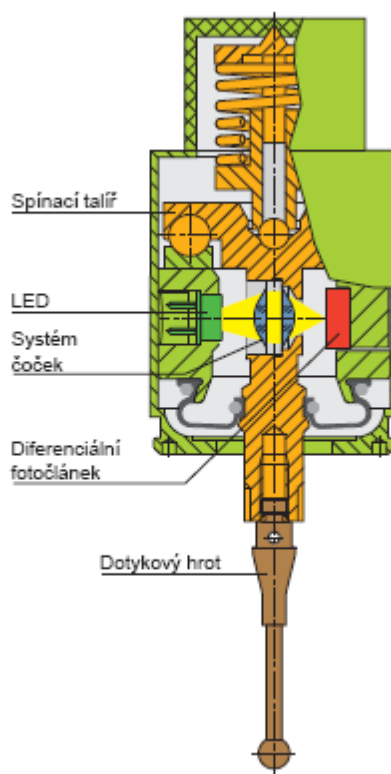
Obrobkové dotykové sondy TS HEIDENHAIN pomohou provádět funkce přípravy, měření a kontroly přímo na obráběcím stroji. Dotykový hrot spínané dotykové sondy TS se vykloní při nájezdu na plochu obrobku. Přitom se vygeneruje elektrický signál, který se

přenesení buď kabelem, nebo infračerveným paprskem do CNC řízení, kde je v tom okamžiku zaznamenána aktuální poloha stroje ze snímačů polohy. Spínací signál je vytvořen velmi spolehlivým optickým senzorem, který pracuje bez opotřebení.

4.4.4. Senzor sondy

Dotykové sondy HEIDENHAIN pro měření obrobku na frézkách a vyvrtávačkách, resp. obráběcích centrech, jsou dostupné v různých provedeních. Nejčastěji užívané sondy jsou TS 2xx, které pracují se senzorem jako s optickým spínačem. Světelné paprsky vycházející z diody LED jsou zaostřeny soustavou čoček a dopadají jako světelný bod na diferenciální fotočlánek. Při vychýlení snímacího hrotu vytvoří diferenciální fotočlánek spínací signál. Dotykový hrot TS je pevně spojen se snímacím talířem, který je uložen v tělese sondy v třibodovém ložisku. Trojbodové uložení zajišťuje fyzikálně ideální klidovou polohu.

Senzor pracuje díky bezdotykovému optickému spínači bez opotřebení. Díky tomu mají dotykové sondy HEIDENHAIN dlouhodobou stabilitu a opakovatelnost i po velmi mnoha měřeních, jako například v aplikacích měření během procesu.



Obrázek 22 - pohled dotykové sondy v řezu

4.4.5. Přesnost snímání sondy

Přesnost snímání je odchylka, která se zjistí po snímání zkušebního tělesa z různých směrů při okolní teplotě 22 °C. Přesnost snímání zohledňuje také efektivní poloměr kuličky. Efektivní poloměr kuličky se skládá ze skutečného poloměru kuličky a vychýlení dotykového hrotu potřebného k vygenerování spínacího signálu. Tím jsou zohledněna i prohnutí snímacího hrotu. Přesnost snímání dotykové sondy se zjišťuje u firmy HEIDENHAIN na přesných měřicích strojích. Spínací dotyková sonda má vysokou přesnost dotyku a opakovatelnost. Společně s nižší silou pro vychýlení dotykového hrotu předurčují tyto vlastnosti sondu pro využití v náročných měřicích úlohách na obráběcích strojích. Reprodukovatelností snímání rozumíme odchylky, ke kterým dojde po opakovaném snímání zkušebního vzorku z jednoho směru.

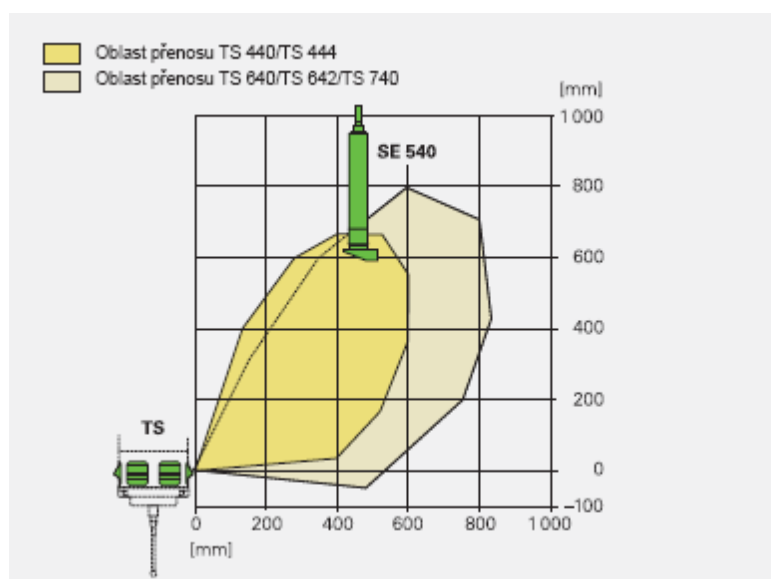
Délka dotykového hrotu a jeho materiál výrazně ovlivňují spínací charakteristiky 3D-dotykové sondy. Dotykové hroty HEIDENHAIN zaručují přesnost snímání lepší než $\pm 5 \mu\text{m}$.

Dotykové sondy přenášejí spínací signál infračervenou cestou. Díky tomu jsou určeny zejména pro stroje s automatickou výměnou nástroje. Infračervený přenos probíhá mezi dotykovou sondou a vysílací/přijímací jednotkou SE. K dispozici jsou následující vysílací/přijímací jednotky:

- **SE 540** k vestavbě do vřeteníku
- **SE 640** k vestavbě do pracovního prostoru stroje
- **SE 642** společné SE pro obrobkovou a nástrojovou sondu.

Infračervený přenos není citlivý na poruchy a pracuje také přes odraz. Díky tomu pokrývá velice širokou oblast aplikací, například se dají některé sondy používat jak na svislých nebo vodorovných vřetenech tak i na sklopných hlavách. Pokud by dosah infračerveného přenosu přesto nedostačoval, mohou se kombinovat dvě jednotky SE 640 pomocí směšovací jednotky APE 642. Infračervenou cestou se přenáší více signálů: signálem **start** se dotyková sonda aktivuje. Jako odpověď hlásí signál **připravenost** provozní stav dotykové sondy. Při vychýlení dotykového hrotu se generuje **spínací signál**. Pokud klesne kapacita baterie TS 64x/TS 740 pod 10 %, ohlásí to sonda signálem **varování baterie**. Závěrnou hranou startovacího signálu se dotyková sonda opět vypne.

Oblasti přenosu mezi vysílači/přijímači SE a dotykovými sondami s infračerveným přenosem mají tvar laloku. Pro optimální přenos signálu v obou směrech by měla být vysílací/přijímací jednotka namontována tak, aby se dotyková sonda nacházela ve všech provozních polohách v této oblasti. Jakmile je infračervený přenos rušen nebo signál slábne, hlásí to SE signálem "připravenost" do NC. Velikost rozsahu přenosu závisí na použité dotykové sondě, ale také k němu použité vysílací/přijímací jednotce. Diody LED a přijímací moduly pro infračervený přenos jsou umístěny rovnoměrně na obvodu dotykové sondy. Tím je zajištěno jak obvodové vyzařování, tak i jistý příjem bez předchozí orientace vřetene.



Obrázek 23 - Oblast infračerveného přenosu

Obrobková sonda TS se upíná přímo do vřetena. Pro použití v rozličných upínacích systémech se dodávají sondy s různými nástrojovými držáky. Při objednání udejte prosím typ.

Dotykové sondy TS lze dodat také bez nástrojového držáku. Upevnění nástrojového držáku je pomocí závitu:

- M30 x 0,5 pro TS 220/TS 230, TS 640/TS 740
- M12 x 0,5 pro TS 440/TS 444

Pokud používáte jiné nástrojové držáky, můžete upínat dotykové sondy pomocí standardizovaných válcových stopek v běžných kleštinových upínacích pouzdrech. Na výběr jsou válcové stopky pro následující upínací nástrojové držáky:

- Weldon nebo upínací pouzdro srovnávacím stiskem podle DIN 6535-

- Whistle Notch podle DIN 6535-HE16

4.4.6. Měření nástrojů pomocí dotykové sondy

Proměřování nástrojů přímo na obráběcím stroji šetří vedlejší časy, zvyšuje přesnost obrábění a snižuje počet zmetků i dodatečné opravování. S 3D dotykovými sondami TT a laserovými sondami TL nabízí HEIDENHAIN dva rozdílné principy měření nástrojů. Díky robustnímu provedení a vysokému stupni krytí mohou být sondy pro měření nástrojů trvale nainstalovány přímo v pracovním prostoru stroje.

Nástrojové sondy TT

Nástrojové sondy TT 140 a TT 449 jsou spínací dotykové sondy pro měření a kontrolu nástrojů. TT 140 disponuje kabelovým přenosem signálů, zatímco TT 449 komunikuje infračerveným přenosem pomocí vysílací/přijímací jednotky SE 642. Kruhový dotykový terčík TT 140 se při mechanickém kontaktu s nástrojem vychýlí. TT přitom vytvoří spínací signál, který je předán do řídicího systému a tam následně zpracován. Spínací signál je vytvořen velmi spolehlivým optickým senzorem, který pracuje bez opotřebení. Dotykový terčík lze jednoduše vyměnit. Nosný čep dotykového terčíku je opatřen dvěma zářezy, tzv. očekávaným místem zlomu. Tím je dotyková sonda chráněna před mechanickým poškozením při nesprávné obsluze.

Laserové sondy TL

Laserovými sondami TL Micro a TL Nano se mohou nástroje proměřovat bezdotykově při jmenovitých otáčkách. Pomocí měřicích cyklů, jež jsou součástí dodávky, můžete zjišťovat délku a průměr nástroje, kontrolovat tvar jednotlivých břitů a zjišťovat opotřebení nebo zalomení nástroje. Zjištěná data o nástrojích ukládá řízení do tabulek nástrojů. Měření probíhá rychle a jednoduše. CNC napoložuje nástroj dle NC programu a spustí cyklus měření. Měření je možné před obráběním, mezi obráběcími kroky, nebo po obrábění. Středově zaostřený laserový paprsek proměřuje nástroje od průměru 0,03 mm při opakovatelnosti až $\pm 0.2 \mu\text{m}$.

Tabulka 4- Rozlišení nástrojové a laserové sondy

	Nástrojové sondy TT		Laserové sondy TL			
Princip snímání	mechanické		bezdotykové laserovým paprskem			
Směry snímání	3 dimenze: $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$		2 dimenze: $\pm X$ (resp. $\pm Y$), $\pm Z$			
Snímací síly	axiální 8 N, radiální 1 N		žádné síly, pracuje bezdotykově			
Materiály nástroje	křehké břity lze poškodit		libovolné			
Citlivost při znečištěném nástroji	velmi malá		vysoká (čištění nástroje ofukem před měřením je nutné)			
Možné měřicí cykly	délka, poloměr, zlomení nástroje, jednotlivé břity		délka, poloměr, zlomení nástroje, jednotlivé břity, geometrie břitu (také při libovolných konturách)			
Požadavky instalace	jednoduché připojení k NC řízení		nutné PLC přizpůsobení na stroji (6 výstupů, 3 vstupy), připojení tlakového vzduchu			
Přenos signálu	kabelem	infračervený k SE 642	kabelem			
Reprodukovatelnost	$2\sigma \leq 1\text{ }\mu\text{m}$		$2\sigma \leq 0,2\text{ }\mu\text{m}$		$2\sigma \leq 1\text{ }\mu\text{m}$	
Min. průměr nástroje	3 mm ¹⁾		0,03 mm		0,1 mm	
Max. průměr nástroje	neomezeno		37 mm ²⁾	30 mm ²⁾	80 mm ²⁾	180 mm ²⁾
Typ	TT 140	TT 449	TL Nano	TL Micro 150	TL Micro 200	TL Micro 300

Ve stroji DMU 80 monoblock je zabudované měření nástrojů laserem a proto se budu zabývat, pouze touto problematikou.

Kontrola nástrojů laserovou sondou TL představuje mimořádně flexibilní řešení. Díky optickému bezdotykovému měření můžete zkontrolovat i ty nejmenší nástroje rychle, bezpečně a bez kolize. Ani pro nejcitlivější nástroje nevzniká nebezpečí poškození. Precizní změření délky a poloměru při jmenovitých otáčkách Vám zajistí vysokou kvalitu výroby. Zároveň Vám integrované nastavení nástroje s automatickou aktualizací údajů o nástroji ušetří opětovné ustavení nástroje a tak redukuje náklady a vedlejší časy.

Kontrola nástrojů probíhá při jmenovitých otáčkách ve skutečném upnutí a tím i za skutečných podmínek obrábění. Tak je možné rozpoznat a opravit vady na nástroji, vřetenu a upínání. Přitom se kontroluje každý jednotlivý břit za plných otáček. Také odchylky geometrie zvláštních nástrojů kontrolujete ve stroji automaticky. Stálou kontrolou procesu hlídáním údajů o nástroji se včas rozpozná opotřebování, zlomení břitu a zlomení nástroje. To Vám zajišťuje konstantní výrobní kvalitu, zamezuje následným škodám a šetří Vám náklady za zmetky a dopracování. Automaticky pracující měřicí cykly umožňují i v bezobslužných směnách optimální kontrolu.

Laserové nástrojové sondy TL zaručují spolehlivou kontrolu nástrojů, vysokou přesnost měření a precizní kontrolu opotřebování. Nabízí Vám následující výhody:

- snížení vedlejších časů
- bezobslužný provoz
- zabránění vzniku zmetků
- zvýšení produktivity
- trvale vysokou kvalitu obrábění



Obrázek 24 - Měření nástroje laserovým paprskem

Laserové sondy se vyrábí v několikaprovedeních pro různé maximální průměry nástroje:

- TL Nano
- TL Micro 150
- TL Micro 200
- TL Micro 300

Zařízení disponují integrovaným ofukovacím zařízením. Tím je možné ofouknout nástroj před měřením a zbavit ho tak špon a chladicí kapaliny. Laserové sondy TL jsou optimalizovány na otáčky vřetena NC stroje pro standardní vřeteno nebo pro HSC vřeteno (nad 30 000 min⁻¹). Verze TL Micro jsou k dispozici volitelně s bočními vývody pro připojovací kabel a pro přívod tlakového vzduchu nebo přípojkami s vývodem směrem dolů.

Pomocí měřících cyklů zpracovává řízení výstupní signál laserových sond a provádí potřebné výpočty. Měřící cykly řízení HEIDENHAIN TNC 426/430 a iTNC 530 jsou součástí dodávky laserových nástrojových sond. Měřící cykly obsahují funkce:

- k seřízení nástroje s automatickým přenosem dat do tabulky nástroje
- pro kontrolu opotřebení s nebo bez korekce dat nástroje
- k identifikaci dat nástroje s nebo bez korekce

K provozu laserových sond TL je potřeba souprava pro tlakový vzduch, dodávaná speciálně pro tyto účely. Skládá se ze tří filtračních stupňů (předřadný filtr, jemný filtr a filtr z aktivního uhlí), automatického odlučovače kondenzátu, regulátoru tlaku s manometrem a také tří spínacích ventilů. Různé tlaky vzduchu jsou použity pro ofukování nástroje, přetlak v laserovém zářiči a pneumatické uzávěry clony. Spínací ventily se řídí přes PLC program.



Obrázek 25 - Laserové sondy pro měření nástrojů

5. Výroba zvolené součásti

Jedná se o odlitek u levé nápravy vojenského automobilu, tzv levou těhlici. Tato součást bude vyrobena na pětiosém frézovacím centru DMU 80. Jedná se o složitou strojní součást a není možné jí vyrobit na jednom přípravku. V této práci je popsáno zhotovení první části těhlice.

5.1. Technologický postup první strany odlitku

Tabulka 5 - Technologický postup

Číslo ope.	Popis Práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka
1	Ø 100 K6 frézovat na Ø 99,8	Pokolm Ø 35, R 0,7	$n=1000[\text{min}^{-1}]$ $v_c=109,9[\text{m/min}]$
2	Ø 90 H8 frézovat na Ø 89,8	Pokolm Ø 35, R 0,7	$n=1000[\text{min}^{-1}]$ $v_c=109,9[\text{m/min}]$
3	Ø 90 H8	Precitool Ø 25 Kalibr	$n=2550 [\text{min}^{-1}]$ $v_c=200,2[\text{m/min}]$
4	Ø 100 K6	Precitool Ø 25 Kalibr	$n=2550 [\text{min}^{-1}]$ $v_c=200,2[\text{m/min}]$

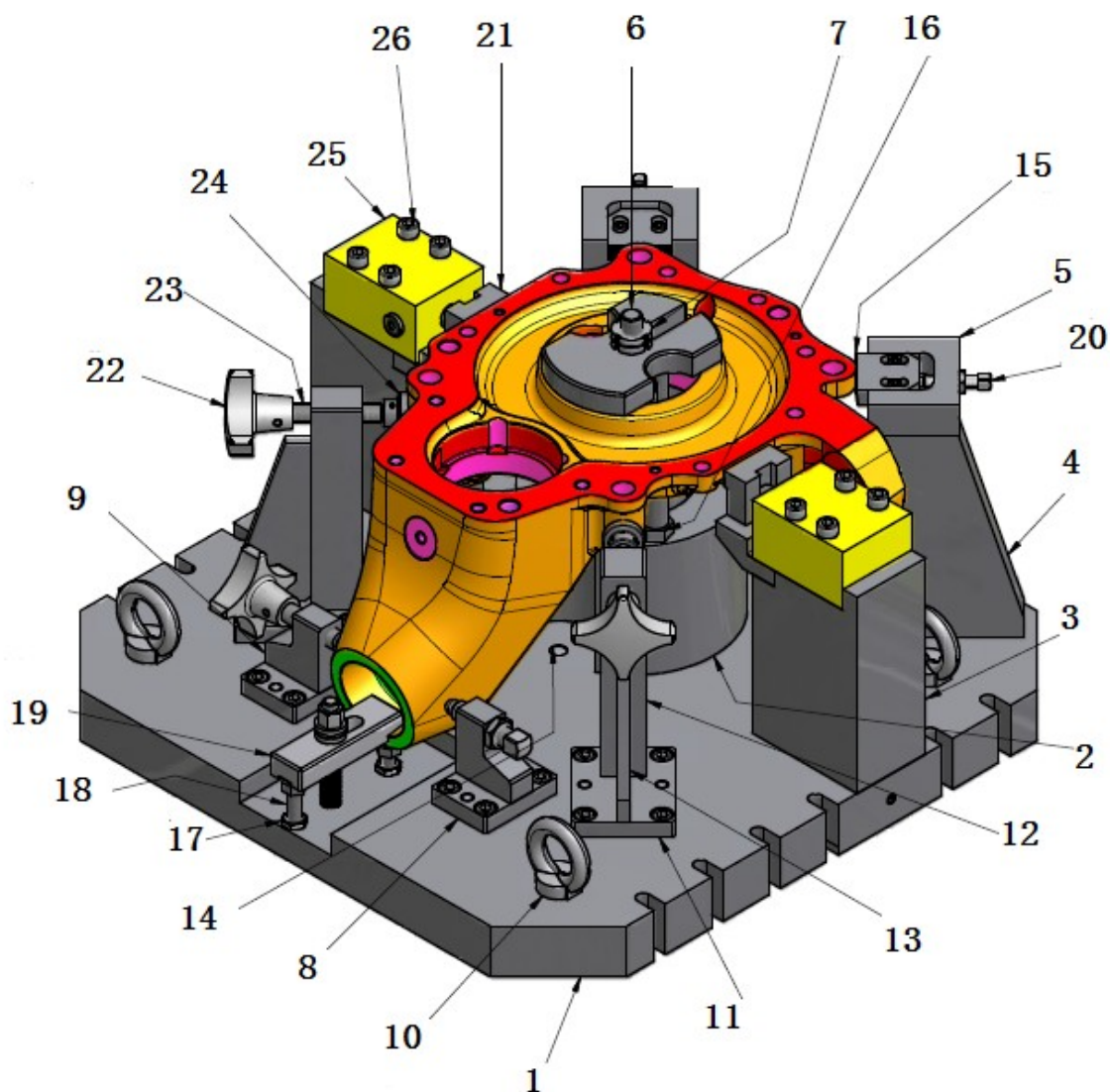
5	R15, R7,5	Pokolm voha Ø 6 Hloubkoměr	$n=5358[\text{min}^{-1}]$ $v_c=100,9[\text{m/min}]$
6	R30, R,35, R40	Pokolm voha Ø 10 Hloubkoměr	$n=3690[\text{min}^{-1}]$ $v_c=115,9[\text{m/min}]$
7	Ø19 E8; Ø16H8; Ø13; Ø18,4+0,2 Výpočet pro Ø19 E8	Vrtáky s příslušným průměrem	$n=475[\text{min}^{-1}]$ $v_c=28,6[\text{m/min}]$
8	Otvory pod závit M8, M10, M12 Výpočet pro Ø11,2 pro M12	Speciální tvrdokové vrtáky Ø7,4; Ø9,3; Ø11,2	$n=1200[\text{min}^{-1}]$ $v_c=42,3[\text{m/min}]$
9	M8, M10, M12	Řezné strojní závitníky	$n=400 [\text{min}^{-1}]$

n ... otáčky $[\text{min}^{-1}]$ v_c ...řezná rychlost $[\text{m/min}]$

5.2. Popis přípravku

Přípravky jsou pomocná zařízení určená k jednoznačnému ustavení a pevnému uchycení součástí při obrábění. Dále pak k přidržení součástí ve vzájemné poloze při jejich smontování, k vedení nástroje a kontrole rozměrů obrobku. Přípravek byl navržen speciálně pro levý druh těhlice a slouží k zajištění stále polohy odlitku. Nevýhodou je, že všechny odlitky nejsou odlity úplně stejně a proto obráběné otvory nebudou vždy úplně přesně na stejných místech, důležité však je, aby jejich pozice na sebe navzájem navazovaly dle zadaných rozměrů na výkrese. Při opracování obrobku při první operaci vznikne plocha, kterou můžeme využít při dalších operacích.

Pro vytvoření Ø 35 a závitu M10 na boční straně těhlice, dojde k vytočení vřetene na požadovaný úhel a díky tomuto budou nástroje pracovat pod úhlem 90°. Vyklopení vřetene u víceosého obráběcího centra šetří výrobní čas obráběného kusu a také výrobní náklady. V případě že bychom neměli k dispozici víceosé obráběcí centrum, museli bychom mít k dispozici pomocnou desku, na kterou by se přípravek s těhlicí nasadil, tak aby byla plocha s Ø 35 a závitem M10 kolmo k svislé pozici vřetene.



Obrázek 26 - Uložená těhlice do přípravku

Tabulka 6 - popis přípravku

Pozice	Název	Rozměr	ks
1	Základová deska	48x600x600	1
2	Opěrné středění	Ø180x137	1
3	Stojina 1	75x115,5x186	2
4	Stojina 2	25x120x191	2
5	Horní deska	30x70x90	2
6	Píst upínky	Ø44x15	1
7	Matice	M16x1,5	2
8	Příruba 1	15x60x80	2
9	Návarek 1	25x60x60	2
10	Šroub	M16 x 27	4
11	Příruba 2	15x80x100	2
12	Návarek 2	35x40x190	2
13	Žebro 1	10x60x150	2
14	Šroub	M16 x 50	1

15	Stavitelný doraz	20x50x50	2
16	Opěrka pevná	24x75	2
17	Matice	M12x1,5	2
18	Opěrka	Ø20 x 70	1
19	Upínka	20 x 35 x 116	1
20	Šroub	M10 x 45	2
21	Čelist upínky	25x40x50	2
22	Hvězdice 80	06156-5080162	3
23	Přítlačný šroub	M16	2
24	Přítlačná opěrka	Ø 32	2
25	Upínací válec	1514-125-L	2
26	Šroub	M10 x 80	8

5.3. Popis ustanovení odlitku na přípravku

Těhlice se pomocí manipulačního jeřábu nasadí na přípravek tak, že se dosud neobrobená plocha nasadí na opěrné středění (poz.2), přitlačí se na stavitelný doraz (poz.15), pomocí upínek se zajistí souřadnice Z a pomocí přítlačných šroubu a opěrky (poz.23, 24) zajistíme pevnou pozici při obrábění.

Jelikož se jedná o čtyřose frézování, jedinou možnou náhradní variantou by bylo upnutí odlitku za druhý z otvorů v odlitku. Zde by ovšem hrozilo nebezpečí vyskočení z přípravku, protože u druhého otvoru je podstatně menší plocha na uložení upínky. Zvolená verze je podle mě při pohledu na konstrukci odlitku a přípravku ideální. Jiný přípravek pro upnutí odlitku mě nenapadá.

5.4. Ustanovení přípravku

Přípravek ustanovíme na stůl pětiosého frézovacího stroje tak, že získáme úhel natočení přípravku pomocí broušené plochy a s tímhle úhlem budeme počítat při frézování. Souřadnice os X a Y získáme tak že počáteční bod [0,0] stanovíme do středu opěrného středění. Souřadnici Z získáme pomocí stanovené hodnoty na ploše dna přípravku.

Průměry frézovaných a vyvrtaných otvorů a vytvořených závitů se budou kontrolovat pomocí kalibru s daným stoupáním popřípadě průměrem a tyto kalibry budou v tolerančním poli H7. Pro kontrolu přesnosti můžeme také využít měřicí nástroj stroje, takzvanou dotykovou sondu, musíme však drát na správné kalibrování průměru kuličky sondy. Pro měření hloubek využijeme digitální hloubkoměr.

5.5. Kontrola přesnosti

Pro vrták Ø 19 E8 mm

$$d_{MIN} = d + (-0,038) = 19,07 - 0,038 = 19,012 \text{ mm}$$

$$d_{MAX} = d + (0) = 19,07 + 0 = 19,07 \text{ mm}$$

Díra ve vrtacím pouzdru

$$D_{MIN} = D + (0,02) = 19,07 + 0,02 = 19,09 \text{ mm}$$

$$D_{MAX} = D + (0,041) = 19,07 + 0,041 = 19,111 \text{ mm}$$

Kontrola přesnosti

$$e_{MIN} = \frac{D_{MIN} - d_{MAX}}{2} = \frac{19,09 - 19,07}{2} = 0,01 \text{ mm}$$

$$e_{MAX} = \frac{D_{MAX} - d_{MIN}}{2} = \frac{19,111 - 19,012}{2} = 0,099 \text{ mm}$$

5.6. Upínací elementy

Pro stanovení upínacích elementů musíme vypočítat upínací síly z řezných sil při vrtání. Pro výpočet řezné síly musíme znát otáčky n a posunutí vrtáku na jednu otáčku frézy f_r .

Řezné síly působící na obrobek jej nesmí odtrhnout od opěrných a dosedacích ploch nebo obrobek deformovat nebo nějak poškodovat. Samotné upínání obrobku zajišťují upínací elementy, které vyvolávají síly upínací. Při návrhu upnutí obrobku v přípravku je nutné přihlížet k řezným silám, a to z důvodu zajištění těchto sil.

5.7. Výpočet upínacích sil

Rovnice pro kroutící moment

$$M_k = 0,029 \cdot D^{1,5915} \text{ [Nm]}$$

D je průměr vrtáku [mm]

U vrtáku $\varnothing 19,2$ - otáčky $n = 475$ [ot/min] a posuv $f = 0,16$ [mm/ot].

$$M_{k_1} = 0,029 \cdot D_1^{1,5915} = 0,029 \cdot 19,07^{1,5915} = 3,16 \text{ Nm}$$

$$F_{c_1} = \frac{4 \cdot M_{k_1}}{D_1} = \frac{4 \cdot 3,2}{0,01907} = 671,21 \text{ N}$$

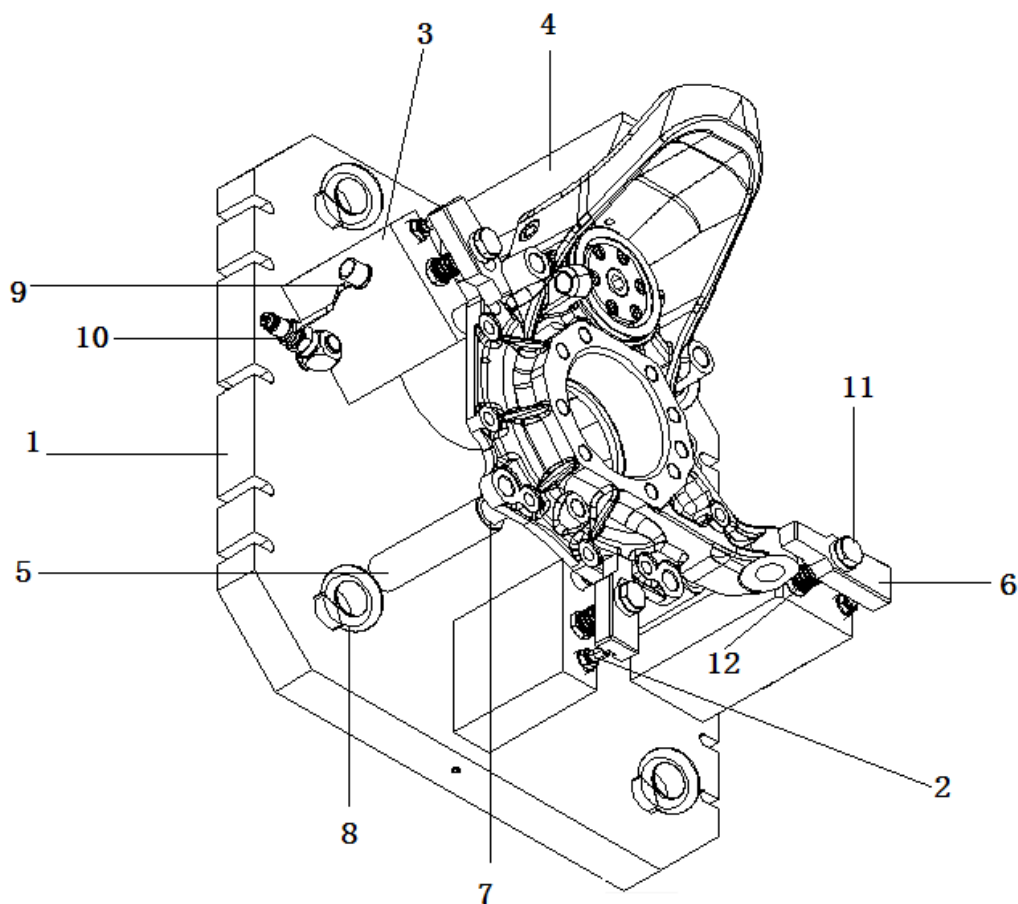
$$Ff_1 = 0,6 \cdot F_{c_1} = 0,6 \cdot 671,21 = 402,73 \text{ N}$$

5.8. Technologický postup druhé strany odlitku

Tabulka 7 - technologický postup

Číslo ope.	Popis Práce	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka
1	Frézovat na 55-0,3	fr. Pokolm $\varnothing 35$, R 0,7	$n=1000$ [min ⁻¹] $v_c=109,9$ [m/min]
2	$\varnothing 125$ K7, $\varnothing 110+0,4$	fr. Pokolm $\varnothing 35$, R 0,7	$n=1000$ [min ⁻¹] $v_c=109,9$ [m/min]
3	Plocha pod M70 x 1,5 frézovat na $\varnothing 68,4$	fr. Pokolm $\varnothing 35$, R 0,7	$n=2550$ [min ⁻¹] $v_c=200,2$ [m/min]
4	Plocha pod M70 x 1,5 šlicht na $\varnothing 68,5$	fr. Fraisa $\varnothing 25$	$n=2040$ [min ⁻¹] $v_c=150$ [m/min]
5	Oplošení na rozměry 56+0,3, 16+0,3	fr. Hoffmann $\varnothing 16$	$n=1550$ [min ⁻¹] $v_c=600$ [m/min]
6	$\varnothing 12,5$ pod M14 x 1,5	Speciální tv. vrt. $\varnothing 12,5$	$n=1120$ [min ⁻¹] $v_c=43,9$ [m/min]
7	M14	Řezný strojní záv.	$n=400$ [min ⁻¹]
8	$\varnothing 125$ K7 šlicht	fr. Fraisa $\varnothing 35$	$n=1700$ [min ⁻¹] $v_c=186,8$ [m/min]
9	$\varnothing 16$ H8, $\varnothing 18$ H11	Speciální tv. vrt. $\varnothing 16$ H8 $\varnothing 18$ H11	$n=520$ [min ⁻¹] $v_c=26$ [m/min]

10	Otvory pod závity M6, M18 x 1,5 Výpočet pro $\varnothing 16,5$	Speciální tvr. vrt. $\varnothing 16,5$	$n=515 [\text{min}^{-1}]$ $v_c=26,7 [\text{m/min}]$
11	M6, M18 x 1,5	Řezný strojní záv.	$n=400 [\text{min}^{-1}]$
12	$\varnothing 26$ do kuželové plochy o základním $\varnothing 30 - 0,05$	Speciální tvr. vrt. $\varnothing 26$	$n=390 [\text{min}^{-1}]$ $v_c=32 [\text{m/min}]$
13	Šlicht kuželové plochy o základním $\varnothing 30 - 0,05$	Kuželová fr.	$n=800 [\text{min}^{-1}]$ $v_c=35 [\text{m/min}]$
14	M70 x 1.5	fr. – M12 x 1,5	$n=1250 [\text{min}^{-1}]$ $v_c=150 [\text{m/min}]$



Obrázek 27 - Uložení těhlice do přípravku a obrábění druhé strany

Tabulka 8 - Popis přípravku pro obrábění z druhé strany

Pozice	Název	Rozměr	ks
1	Základová deska	48x600x600	1
2	Výškový doraz upínky	$\varnothing 12 \times 35$	3
3	Návarek	45x125x140	3
4	Žebro	28x50x235	1
5	Stojina	$\varnothing 30 \times 140$	3
6	Upínka	25 x40x125	3

7	Opěrka pevná	25x35	3
8	Šroub	M16	4
9	Úpínka rychlospojky	9384-400	1
10	Rychlospojka	9384-206	1
11	Šroub	M12	3
12	Pružina	Ø14	3

5.9. Popis přípravku

Přípravek byl navržen speciálně pro obrábění druhé strany levé těhlice a slouží k zajištění stále polohy odlitku. Nevýhodou je, že všechny odlitky nejsou odlity úplně stejně a proto obráběné otvory nebudou vždy úplně přesně na stejných místech, důležité však je, aby jejich pozice na sebe navzájem navazovaly dle zadaných rozměrů na výkrese. Proto jsou tolerované rozměry Ø 100 K6 a Ø 90 H8 posazeny na utahovací trn a při obrábění druhé strany budou rozměry vycházet od tolerovaných otvorů Ø 100 K6 a Ø 90 H8 což je pochopitelně důležité.

Ustanovení přípravku a výpočet upínacích sil je totožný s výpočtu přípravku pro první stranu, jelikož se pro obě strany používají stejné nástroje.

Při obrábění této strany využijeme natočení vřetene hned v několika případech. Využití čtvrté a páté osy je potřeba pro otvor 18 H11, závit M70 a kuželového otvoru se základnou Ø 30 – 0,05. Zde bychom museli využít tři pomocné desky, které by byla každá zvlášť připevněna k základnímu přípravku. Z tohoto důvodu nám víceosý obráběcí stroj ušetří ještě více času a financí než u první strany.

5.10. Ekonomické zhodnocení přípravku

$$U_r = n \cdot U \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \quad U_r = 500 \cdot 0,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) = 1375 \text{ Kč}$$

U – úspora ve vazbě na jeden obrobek [Kč / kus]

n – počet vyrobených kusů za rok [kus / rok]

R – režie [%]

U_r – výška úspor zavedením přípravku do používání

5.10.1. Stanovení ceny přípravku [Kč]

Vychází z rozdělení přípravků na několik stupňů obtížnosti, např. při rozdělení na šest stupňů (1 – nejjednodušší, 6 - nejsložitější)

Tabulka 9 - Rozdělení přípravků

Sk. slož.	I	II	III	IV	V	VI
k_c	90	135	210	320	500	750

$$C = (10 \div 50) \cdot k_c \cdot \sqrt{v} + 50 \cdot \sqrt{v}$$

$$C = 10 \cdot 90 \cdot \sqrt{32,8} + 50 \cdot \sqrt{32,8} = 5\,440,7 \text{ Kč}$$

Tabulka 10 - Legenda

LEGENDA:	
C	- cena zařízení [Kč]
v	- hmotnost přípravku [kg]
k_c	- koeficient složitosti zařízení (Volím III. skupinu složitosti)
$k_c = 210$	

$$S = n' \cdot i$$

$$S = 145 \cdot 4 = 580 \text{ Kč}$$

Tabulka 11 - Legenda

LEGENDA:	
S	- náklady v Kč na seřízení zařízení na stroji při výrobě n výrobků za rok [Kč/rok]
n'	- náklady na jedno seřízení [Kč / dáv]
i	- počet seřízení

$$k = \frac{1}{T} + \frac{h}{100}$$

$$k = \frac{1}{8} + \frac{0,1}{100} = 0,126$$

Tabulka 12 - Legenda

LEGENDA:	
k	- součinitel odpisů a srážek na údržbu a opravy [1/rok]
T	- počet roků po něž je zařízení v provozu [rok]
h	- náklady vynaložené na údržbu a opravy [%]

5.10.2. Min. počet kusů, aby se přípravek vyplatil

$$n \geq \frac{C \cdot k + S}{U \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right)} = \frac{5440,7 \cdot 0,126 + 580}{0,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right)} = 461 ks$$

$5000 \geq 461 \Rightarrow$ **přípravek vyhovuje**

5.10.3. Přípustné náklady na výrobu zařízení C

$$C \leq \frac{U \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot n - S}{k} \quad 5440,7 \leq \frac{0,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) \cdot 500 - 580}{0,126} = 6309,5Kč$$

(9.7)

$$5\,440,7Kč \leq 6\,309,5Kč$$

5.10.4. Počet roků T potřebný k dosažení hospodárnosti zařízení

$$T = \frac{C}{U \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot n - S - \frac{h}{100} \cdot C}$$

$$T = \frac{5\,440,7}{0,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) \cdot 500 - 580 - \frac{0,1}{100} \cdot 5\,440,7} = 6,9roků$$

T = 6 roků, 10 měsíců, 24 dní.

5.10.5. Výpočet zisku zavedením přípravku

$$Z = n \cdot U \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) - S - C \cdot k$$

$$Z = 500 \cdot 0,5 \cdot \left(1 + \frac{450}{100}\right) - 580 - 5440,7 \cdot 0,126 = 109,5 Kč$$

Zisk ze zavedení přípravku pro obrobení druhé strany těhlice bude totožný se ziskem u přípravku pro obrobení první strany. Oba přípravky mají stejnou hmotnost, jsou na nich potřebné stejné úpravy a slouží k obrobení stejného počtu kusů. Navíc tyto přípravky

slouží po přepnutí stojen také k výrobě pravých těhlic, tudíž se ušetří práce a materiál na výrobu dalších přípravků.

6. Výhody víceosého obrábění

Jak již bylo zmíněno, víceosé obrábění (v našem případě frézování, protože se jedná o frézovací centrum) zahrnuje technologii frézování s použitím více jak tří os. Nejběžněji označovanou touto technologií je pětiosé frézování, ale může být jím také frézování čtyřosé. Tuto technologii lze provádět na tzv. víceosých frézovacích centrech, tedy i na zvoleném DMU 90 monoblock.

Tabulka 13 - Výhody pětiosého frézování

Výhody pětiosého frézování:	Snížení času výroby
	Opracování kusu na menší počet upnutí – eliminování chyby při seřízení
	Komplexní výroba kusu
	Možnost využití kratších nástrojů, což způsobí menší vibrace a delší trvanlivost nástrojů
	Zlepšení parametru drsnosti frézovaného povrchu
	Využití větších řezných a posuvných rychlostí
	Možnost obrobení složitých tvarů
	Možnost naklonění nástroje pro předcházení kolizí mezi nástrojem, držákem nástroje a obrobkem
	Možnost naklonění nástroje pro zvýšení kvality obrobeného povrchu
	Zmenšení nákladů na vyplacení mzdy zaměstnance, který by musel kusy upínat jinak, pokud by byl k dispozici pouze tříosý systém

Tabulka 14 - Nevýhody pětiosého frézování

Nevýhody pětiosého frézování:	Pořizovací náklady víceobráběcích strojů jsou větší než u tříosých
	Vyšší nároky na programátora a obsluhu stroje
	Vyšší náklady na opravu a provoz stroje
	Delší čas při ustanovení přípravku, tak aby nedošlo ke kolizi
	Ztrátové časy při nutném najetí nástroje a stolu na nulové body při výměně nástroje

Při použití obráběcího stroje DMU 80 monoblock tedy využijeme k zhotovení těhlice všech pěti os. Umožní to tedy, že každá strana těhlice je vyrobena na jedno upnutí v jednom přípravku a tudíž na sebe tolerované rozměry navazují lépe, než kdybychom

museli každý kus upnout několikrát zvlášť, aby každý tvar byl pod úhlem 90° k vřetenu stroje. Při výrobě první strany je potřeba využít naklopení vřetene jednou a při druhé straně je potřebné využít vyklopení při třech částech těhlice. Při absenci víceosého stroje, by to znamenalo nutnost čtyř pomocných ploch, ke kterým by se připevnila základní desky přípravků. Při objednání materiálu na pomocné přípravky a samotné opracování přípravku, včetně nákladů na provoz stroje a opotřebení nástrojů odhaduji náklady na 18 000 Kč. Během každého roku se očekává vyrobít 500 ks těhlic levých a stejný počet pravých. Podle data objednávky se těhlice vyrábějí po sto kusech. Mít k dispozici pouze tříosé centrum, museli bychom pětkrát za rok zbytečně montovat a ustavovat další čtyři přípravky. Upnutí a kontrola přesnosti zabere u tohoto typu přípravku přibližně hodinu času. Výměna kusu způsobí, že se čas potřebný k zhotovení těhlice protáhne o sedm minut u každého upnutí. Jelikož tedy na těhlici jsou čtyři otvory u nichž je potřeba víceosý program, prodloužil by se čas potřebný k zhotovení každé těhlice o 28 minut. Když k tomu přičteme samotné upnutí všech čtyř přípravků, pětkrát za rok, což zabere 20 hodin navíc, dostaneme se tedy na výsledný ztrátový čas přibližně 480 hodin za rok.

Jestliže hodina provozu stroje DMU 80 monoblock stojí u firmy kde se těhlice zhotovují 700 Kč a průměrná hrubá mzda dělníka se pohybuje okolo 145 Kč, můžeme vypočítat, že finanční ztrátu u stroje je 336 000 Kč a u zaměstnance je potřeba vynaložit 69 600 Kč navíc. Celková ztráta by byla přibližně 405 600 Kč ročně.

ZÁVĚR

Na závěr mé práce, bych chtěl shrnout dosažená zjištění. Metody frézování nejsou určitě jen novodobou záležitostí. Podstatné zdokonalení frézovacích metod přišlo s frézovacími centry, tzv. CNC a následně s frézovacími víceosými centry. Víceosé frézovací centra výrazně šetří pracovní čas, strojní náklady, umožňují ekonomickou výnosnost z obráběných prvků a tudíž firmy vlastníci tyto stroje mají vysoké předpoklady k udržení konkurence schopnosti. I přes vysoké pořizovací náklady, jsou tyto stroje často používané, protože během několika málo let se při efektivní domluvě zakázek a nepřerušovaném provozu tato investice několika násobně vrátí. Důkazem tohoto, je obrábění zmíněných odlitků těhlic na víceosém obráběcím centru DMU 80 monoblock, díky němuž ušetří firma ročně 480 hodin, což v přepočtu na provoz stroje a mzdu zaměstnance znamená 405 600 Kč. Cílem práce bylo určit výhody víceosého frézování a ty se při výpočtu úspor jednoznačně ukázaly.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace a také poskytnutí materiálů a informací. Děkuji také za rady a trpělivost.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JANECKA, KAREL. Postprocesory a programování NC stroju. první. [s.l.] : UJEP, FVTM, 2007. 244 s. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [2] Eric Hobsbawm. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2014-01-23]. Dostupné z < http://en.wikipedia.org/wiki/Eric_Hobsbawm >
- [3] <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/programovani-ctyr-az-petioseho-frezovani.html>, [cit. 2014-04-23]
- [4] ŠTUPLA, Miloslav. CNC obrábecí stroje a jejich programování. první. Praha: BEN-technická literatura, 2006. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7
- [5] TUMLIKOVO METAL CUTTING TECHNOLOGIES. Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování [online], [cit. 2014-02-11]. Dostupné z < <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/> >
- [6] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Recyklace – ekologie i ekonomika [online], [cit. 2014-02-18]. Dostupné z < <http://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-ekologie-i-ekonomika.html> >
- [7] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 1.díl. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8
- [8] Frézování - 5 os [online]. Brno: DELCAM BRNO, s.r.o. Optimalizace PageRank.cz, [cit. 2014-3-20]. Indexování 4. osy. Dostupné z < <http://www.frezovani-5os.cz> >
- [9] Rivett. Lathes [online], [cit. 2014-04-24]. Dostupné z < <http://www.lathes.co.uk/rivettearly608/index.html> >
- [10] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 2.díl. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1
- [11] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. s. 256, [cit. 2014-3-20]. Dostupné z < <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf> >

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Výkres levé těhlice

Příloha č.2: Výkres levé těhlice

Příloha č.3: Výkres přípravku pro obrobení první strany levé těhlice

Příloha č.4: Výkres přípravku pro obrobení druhé strany levé těhlice

Přílohy se nachází ve výkresové dokumentaci

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Původní frézovací nástroje (vlevo), původní frézka z roku 1818 (vpravo)	10
Obrázek 2 - Rivett 8 Precision (1908).....	11
Obrázek 3 - Popis os obráběcích center.....	15
Obrázek 4 - Jednoosé řízení (vrtačka)	16
Obrázek 5 - Dvouosé řízený NC stroj (soustruh)	17
Obrázek 6 - Tříosé řízený NC stroj (frézka).....	18
Obrázek 7 - Čtyřosé řízení	21
Obrázek 8 - Pětiosé řízení.....	22
Obrázek 9 - Sklon osy nástroje - pevné nastavení	23
Obrázek 10 - Sklon osy nástroje - přímka a úhel k přímce	23
Obrázek 11 - Sklon osy nástroje - Úhel k tečně.....	24
Obrázek 12 - Obrábění a přesuny nástroje na tvarových plochách.....	24
Obrázek 13 - Obráběcí robot.....	27
Obrázek 14 - DMU 80 monoblock.....	28
Obrázek 15 - otočný stůl	29
Obrázek 16 - naklepení vřetene	30
Obrázek 17 - Dotyková sonda firmy HEIDENHAIN	32
Obrázek 18 - Kompenzace šikmého ustavení obrobku pomocí	33
Obrázek 19 - Střed pravoúhlého a kruhového čepu, střed roztečné kružnice, stanovení vnějšího rohu	33
Obrázek 20 - Měření polohy, úhlu, průměru, naklonění roviny	34
Obrázek 21 - Měření délky, průměru, roztečné kružnice	34
Obrázek 22 - pohled dotykové sondy v řezu.....	35
Obrázek 23 - Oblast infračerveného přenosu	37
Obrázek 24 - Měření nástroje laserovým paprskem.....	40
Obrázek 25 - Laserové sondy pro měření nástrojů	42
Obrázek 26 - Uložená těhlice do přípravku.....	44
Obrázek 27 - Uložení těhlice do přípravku a obrábění druhé strany	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Popis DMU 80 monoblock	28
Tabulka 2 - metrologické hodnoty při vytočení vřetene	30
Tabulka 3 - Technická data DMU 80 monoblock	31
Tabulka 4- Rozlišení nástrojové a laserové sondy	39
Tabulka 5 - Technologický postup	42
Tabulka 6 - popis přípravku	44
Tabulka 7 - technologický postup	47
Tabulka 8 - Popis přípravku pro obrábění z druhé strany	48
Tabulka 9 - Rozdělení přípravků	50
Tabulka 10 - Legenda	50
Tabulka 11 - Legenda	50
Tabulka 12 - Legenda	50
Tabulka 13 - Výhody pětiosého frézování	52
Tabulka 14 - Nevýhody pětiosého frézování	52